

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh technologie výroby vložky  
plastové formy**

**Production Technology Proposal of  
Plastic Mould Sleeve**

Student:

Bc. Marek Pěchouček

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2011

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Pěchouček**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh technologie výroby vložky plastové formy**  
**Production Technology Proposal of Plastic Mould Sleeve**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Technologie mikrofrézování a elektroerozivního hloubení.
3. Návrh výroby součásti elektroerozivním hloubením.
4. Návrh výroby součásti mikrofrézováním.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

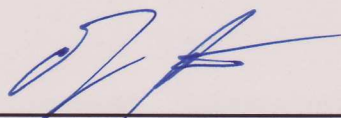
- [1] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

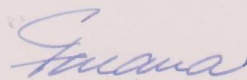
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

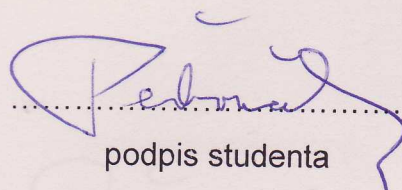
### Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §36 - školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně za své vlastní potřeby diplomovou práci užit (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k právoanálýze nahládek a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit díla v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, která je oprávněna v

### Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.5.2011

  
podpis studenta



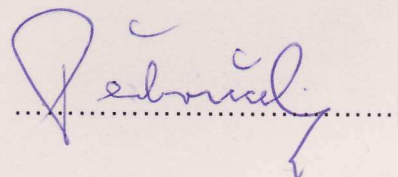
## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Přechoutak, M. Advers technology výroby vlnitý plastové formy Ostrava: kalendář obrábění a montáže. Fakulta strojí VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 48 s. Diplomová práce. Vedoucí Črp.

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23.5.2011



## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pěchouček, M. *Návrh technologie výroby vložky plastové formy*. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 46 s. Diplomová práce, vedoucí Čep, R.

Diplomová práce řeší problematiku výroby vložky plastové formy technologií mikrofrézování kalené oceli. Úvodní kapitola se zabývá obecnou charakteristikou mikrofrézování při výrobě lisovacích nástrojů a forem. Následující stať srovnává technologii mikrofrézování a technologii elektroerosivní obrábění v průmyslovém strojírenství. Třetí bod práce je návrh výroby součásti elektroerosivním hloubením. Ve čtvrtém bodě je zpracován návrh výroby vložky plastové formy mikrofrézováním. V závěrečné části bylo provedeno technicko ekonomické zhodnocení praktické zkoušky mikrofrézování kalené oceli a elektroerosivního obrábění kalené oceli.

## ANNOTATION OF THESIS

Pěchouček, M. *Production Technology Proposal of Plastic Mould Sleeve*. Ostrava: Department of Working and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2011, 46 p. Thesis, head: Čep, R.

The graduation theses is dealing with Micro milling of Hardened Steel. The first part describes general characteristic of Tools and Moulds production by micro milling. Following is comparing Micro milling and Electro Discharge Machining in Industry Engineering. The third point of the thesis is draft of Electro Discharge Machining. The fourth point is a proposal of the production plastic mold sleeve by Micro milling. In final part was made comparison between results of Micro milling and Electro Discharge Machining Working of Hardened Steel.

## Obsah diplomové práce:

Obsah diplomové práce: .....	2
Seznam symbolů a zkratk .....	4
Úvod .....	5
1. Úvod do problematiky.....	5
1.1 Představení společnosti Hettich ČR k.s. ....	5
1.2 Mikrofrézování při výrobě lisovacích nástrojů a forem .....	8
2. Technologie mikrofrézování a elektroerosivního hloubení .....	10
2.1 Technologie mikrofrézování .....	10
2.1.1 Volba nástroje pro mikrofrézování .....	11
2.1.2 HSC obráběcí stroje - charakteristika .....	12
2.1.3 Přednosti mikrofrézování .....	14
2.1.4 Nedostatky mikrofrézování .....	15
2.1.5 Integrita povrchu při mikrofrézování.....	15
2.1.6 Zbytková napětí, podstata, metody, hodnocení .....	16
2.1.7 Mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobené plochy.....	17
2.2 Elektroerosivní obrábění .....	19
2.3.1 Elektrojiskrové hloubení .....	21
2.3.2 Elektrojiskrové řezání.....	22
2.3.3 Dielektrikum .....	24
2.3.4 Nástrojové elektrody .....	26
3. Návrh výroby součásti elektroerosivním hloubením .....	28
3.1 Návrh technologického postupu .....	29
3.2 Posouzení použitých elektrod .....	30
3.3 Technické parametry použitého stroje .....	33
3.4 Upnutí a výroba grafitových elektrod.....	36
4. Návrh výroby součásti mikrofrézováním.....	37
4.1 Návrh technologického postupu .....	40
4.2 Posouzení použitých řezných nástrojů.....	41
4.3 Technologické parametry použitých nástrojů .....	43
4.4 Technické parametry použitého stroje .....	44

4.5	Upnutí řezných nástrojů .....	46
5.	Technicko-ekonomické zhodnocení .....	47
5.1	Technologie – elektroerosivní hloubení.....	47
5.2	Technologie – mikrofrézování .....	48
5.3	Porovnání nákladů .....	49
5.3.1	Elektroerosivní obrábění: .....	49
5.3.2	Frézování: .....	50
6.	Závěr .....	51
	Seznam použité literatury .....	52
	Seznam příloh .....	54

## Seznam symbolů a zkratk

<b>Zkratka</b>	<b>Výklad</b>	<b>Jednotka</b>
$a_p$	axiální hloubka řezu	[mm]
$f$	posuv	[mm]
$D$	průměr frézy	[mm]
$L$	délka frézy	[mm]
$n$	otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
$R_a$	průměrná aritmetická úchylka profilu	[μm]
$v_c$	řezná rychlost	[m.min <sup>-1</sup> ]
$v_f$	posuvová rychlost	[m.min <sup>-1</sup> ]
$\lambda$	úhel sklonu ostří bříty	[°]

<b>Zkratka</b>	<b>Kompletní název</b>	<b>Překlad</b>
<i>EDM</i>	Electro Discharge Machining	elektroerosivní obrábění
<i>CAD</i>	Computer Aided Design	konstruování s počítačovou podporou
<i>CAM</i>	Computer Aided Manufacturing	řízení výroby s počítačovou podporou
<i>CNC</i>	Computer Numerical Control	počítačem číslicově řízený stroj
<i>DIY</i>	Do It Yourself	udělej si to sám
<i>HC</i>	Hard Cutting	tvrdé obrábění
<i>HRC</i>		tvrdost měřená dle Rockwella(diamant)
<i>HSC</i>	High Speed Cutting	vysokorychlostní obrábění
<i>HVC</i>	High Volume Cutting	vysoko objemové obrábění
<i>HW</i>	Hardware	technické vybavení počítače
<i>NC</i>	Numerical Control	číslicově řízený
<i>RP</i>	Rapid Prototyping	rychlá výroba prototypů
<i>SW</i>	Software	programové vybavení počítače



## **Úvod**

Současný technický pokrok vyžaduje vyvinutí nových technologií výroby, které přinášejí jednak zvyšování užitečných vlastností materiálů, ale také optimalizaci a produktivitu vlastní výroby.

Tlak na zvyšování produktivity, zkracování výrobních lhůt a snižování nákladů ve strojírenství je stále vyšší. Jednou z možností, jak tomuto tlaku úspěšně čelit, je změna dokončovacího frézování směrem k užívání mikrofréz. Zvláště aktuální je to pro firmy, které kombinují technologii frézování a elektroerosivní obrábění (EDM).

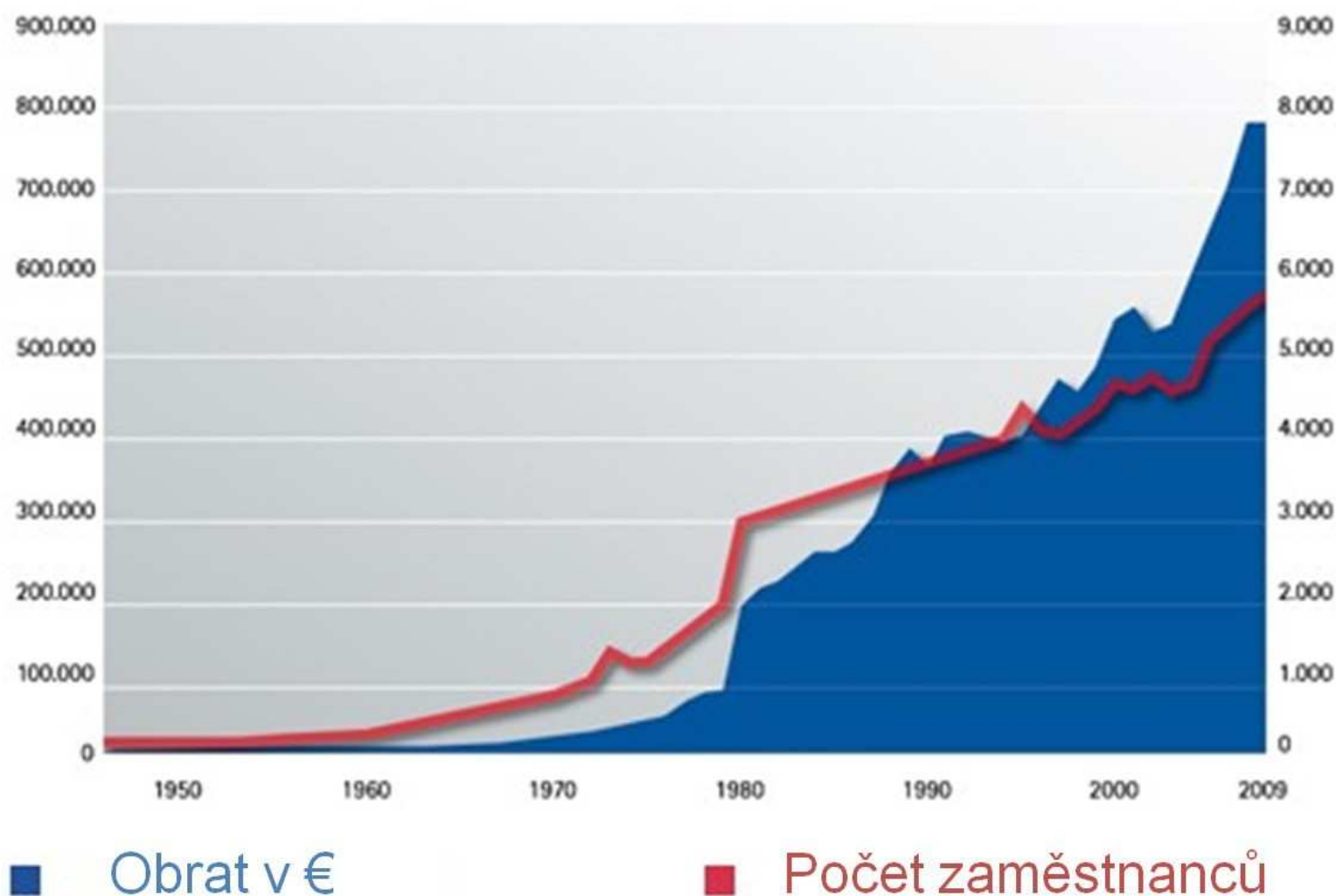
Tato diplomová práce obsahuje téma, které plně zapadá do rámce výše uvedených predikcí. Zabývá se problematikou mikrofrézování a EDM ve firmě HETTICH ČR k.s.

## **1. Úvod do problematiky**

### **1.1 Představení společnosti Hettich ČR k.s.**

Na počátku dějin a tradic firmy byl jeden vynález. Karl Hettich vyvinul inovační díl ke kukačkovým hodinám a založil v roce 1888 malou továrnu ve Schwarzwald.

Další generace se v roce 1930 rozhodla založit novou pobočku ve východním Vestfálsku, které bylo tehdy centrem německého nábytkářství. Od roku 1966 je sídlo firmy v Kirchlengernu (cca 25km severně od Bielefeldu). Podnik je v současnosti opět ve 100% vlastnictví rodiny Hettich.



Obr. 1.1.1 Vývoj počtu zaměstnanců a obrátu v koncernu Hettich od roku 1950 do roku 2009 [8]

Společnost Hettich International patří k největším výrobcům nábytkového kování na světě. Výrobní sortiment zahrnuje závěsy, výsuvy, zásuvky, spojovací kování pro vnitřní vybavení skříní až po komplexní systémy kování, které zvyšují užitnou funkci nábytku.

V současnosti se nabídka produktů rozšířila o moduly a náročné komponenty pro telekomunikaci, automobilový průmysl, stavební průmysl a kuchyňské spotřebiče.

Pro Hettich pracuje cca 6 000 zaměstnanců ve více než 100 zemích světa. Výrobní závody skupiny se nacházejí v Německu, Španělsku, České republice, Brazílii, USA, Rusku a Číně. Odbytové pobočky působí ve Velké Británii, Francii, Itálii, Skandinávii, Polsku, Slovensku, Kanadě, Japonsku, Austrálii, na Novém Zélandě a v Hong-Kongu.

V České republice je zastoupena společností Hettich ČR k.s. výrobním závodem se sídlem ve Žďáru nad Sázavou, který byl založen roku 1993.

V současné době firma Hettich ČR k.s., zaměstnává přes 650 lidí. V loňském roce byla firma Hettich rozšířena o nové výrobní haly. Vznikl tak dostatečný prostor pro nejmodernější technologie i nové vývojové technologické centrum.

Vývoj a prodej Hettich International se člení na samostatně fungující tržní segmenty: nábytkářský průmysl, distributory kování, truhláře, železářství a hobby prodej (DIY) a divize Promodul - ostatní průmysl - automobilový, elektro, stavební kování, bílé zboží.

Technik für Möbel - to je víc než jen slogan. Značka Hettich je po celém světě značkou kvality, inovace, spolehlivosti a vstřícnosti vůči zákazníkům.

Kováním pro všechny příležitosti Hettich inspiruje lidi po celém světě. Hettich určuje měřítko.

Jako jeden z celosvětově největších výrobců nábytkového kování poskytuje zákazníkům stále znovu inovativní impulzy pro inteligentní funkci, vysokou kvalitu a jedinečný komfort nábytku k bydlení, žití a práci.



Obr. 1.1.2 Výrobní závod firmy Hettich ve Žďáru nad Sázavou

## **1.2 Mikrofrézování při výrobě lisovacích nástrojů a forem**

Současný stav strojírenské výroby je charakterizován neustále rostoucími požadavky na složitost výrobků, tvarovou a rozměrovou přesnost a integritu povrchu, zejména funkčních ploch obráběného dílce, zaváděním nových druhů konstrukčních materiálů, zejména materiálů s nižší měrnou hmotností a vysokou pevností, titanových slitin, speciálních vrstvených hmot, polotovarů vyráběných práškovou metalurgií a metodami rapid prototypingu (RP).

Nástrojárny vyrábějící lisovací nástroje a formy na plasty musí při dokončování tvarových detailů realizovat stále komplikovanější výrobu dílců. Zároveň také je zde rostoucí tlak na zkracování výrobních dob, snižování výrobních nákladů a zvyšování produktivity. Velké procento dokončovacího

obrábění se provádí finálním EDM. Jasně ovšem je, že se výroba současných forem a nástrojů bez eroze zatím neobejde. To, jak velký podíl na výrobě elektroeroze má, je závislé na řadě faktorů.

Tyto faktory (technologické, organizační, ekonomické, technické) si musí vyhodnotit každá firma sama. Zde si můžeme položit tyto otázky:

- jak finančně a časově náročná je naše technologie elektroeroze ( modelování, programování, výroba elektrody a EDM )?
- jaký je rozdíl v pracnosti ručního leštění jiskřeného a frézovaného povrchu
- jsou požadavky na tvarové detaily ze strany zákazníka, resp. naší konstrukce (vývoje) odůvodněné
  - často se při důslednější diskusi zjistí, že ostré rohy nejsou nutné, ba co více, že malý rádius po fríze je pro díl vlastně prospěšnější
- jsme vybaveni vhodnou technologií

Technické faktory - určují reálné možnosti aplikace mikrofrézování na obráběcím stroji. Jsou to především:

- otáčky(n) a tuhost vřetena
- přesnost
- posuv(f) a zrychlení stroje
- řídicí systém stroje
- použité nástroje atd.

Velice důležitý technický faktor je výběr vhodného řídicího software (CAM), který musí splňovat následující body a musí být schopen dodržovat zásady vysokorychlostního obrábění (HSC):

- přesnost výpočtu v 0.0005mm ( malé dráhy při mikrofrézování )
- plynulé najetí do řezu pomocí rampy (kapsy)
- rovnoměrnost odebíraného materiálu (trochoidní frézování - opracování libovolně široké drážky frézou o relativně malém průměru)
- plynulost dráhy nástroje (rádiusy v rozích)
- dostatečně široká sada obráběcích strategií



## 2. Technologie mikrofrézování a elektroerosivního hloubení

### 2.1 Technologie mikrofrézování

Pojem mikrofrézování je všeobecně definován jako obrábění miniaturní frézou. Miniaturní frézou rozumíme frézy s průměrem 0,05mm-2mm. Těmito rozměry nástrojů již na první pohled zapadají do definovaného oboru mikrofrézování.

Při definování dalších parametrů nástroje, jako je řezný materiál, geometrie a povlakování, se dostáváme opět do oblasti mikrotechnologií, neboť při výrobě mikronástrojů je potřebný extrémně jemný základní materiál s velikostí zrn od 0,2 do 0,5  $\mu\text{m}$ .

Základní charakteristikou mikrofrézování je zkracování výrobních časů a odbourávání či vynechání některých operací, což má za následek snižování nákladů. Mikrofrézování se doposud používá nejvíce při výrobě grafitových či měděných elektrod, ale v posledních letech je tento pojem stále více spojován s možností finálního dokončování kalených ocelí (HSC).

Pro správné užívání mikrofréz, respektive dosažení požadovaného optimálního výkonu, je nutno dodržovat řadu obecných zásad.

Mezi nejdůležitější patří:

- nepoužívat zbytečně dlouhý nástroj
- nastavení dostatečných otáček
- dodržování doporučených řezných podmínek výrobce
- kontrola házivosti nástroje
- vyfukování špon z prostoru obrábění
- při výměně opotřebené mikrofrézy vrátit program a část tvaru obrobit znova (eliminace schodovitosti na stěně)
- některé (vyspělé) řídicí systémy umožňují kontrolovat nástroj v průběhu obrábění (po určitém čase, po určité délce obrábění) [4]

Produktivita mikrofrézování je závislá především na otáčkách, např. pro frézu s průměrem 0,2mm a délkou 0,5mm pro obrábění oceli s tvrdostí 55 – 70 HRC doporučují firmy, jako HITACHI, UNION TOOLS, FRAISA apod. otáčky  $35\,000\text{min}^{-1}$ . U neželezných materiálů se doporučené otáčky blíží hodnotám v rozsahu  $50\,000 - 60\,000\text{min}^{-1}$ . Logicky pak dospíváme k nutnosti investovat do kvalitního obráběcího HSC stroje nebo kvalitního zrychlovacího elektrovřetená.

### 2.1.1 Volba nástroje pro mikrofrézování

Vyspělí výrobci monolitních nástrojů dnes nabízejí mikrofrézy s průměry již od 0,05mm. Rozsah délek je v rozsahu 3 – 25násobku průměru nástroje. Právě v oblasti mikrofrézování platí zásada, že volíme pokud možno co nejkratší nástroj! Maximální pozornost výrobce je věnována přesnosti geometrie tvaru ostří ( $\lambda$ ). Přesnost průměrů (D) mikrofréz firmy UNION TOOLS, s kterou spolupracuje firma HETTICH k.s. je  $\pm 0,005\text{mm}$ . Tento požadavek je vynucen nutností maximálního vyvážení nástroje pro vysoké otáčky. Zvláštní péče výrobce je pochopitelně soustředěna i na povlak. U takto malých nástrojů enormně stoupají nároky na vlastnosti povlaku (malá tloušťka, odolnost proti otěru a kvalita povrchu).

Mikrofrézování je možné realizovat pouze na strojích, které jsou z konstrukčního hlediska vybavené vřeteny s vysokými otáčkami nebo vybaveny kvalitní zrychlovací hlavou. Tato technologie je v praxi využívána při výrobních operacích hrubování, a kde je to technicky možné, tak i dokončování. Při dokončovacích operacích dochází k přetížení času opracování, ale značným přínosem je drsnost povrchu. Drsnost povrchu často bývá až  $Ra = 0,2\,\mu\text{m}$ . Výhodou je, že dále už není nutné realizovat dokončovací operace jako jsou leštění a broušení. Další přínosem je, že touto technologií obrábíme tvarově složité součástky se snížením výrobních nákladů. [1]

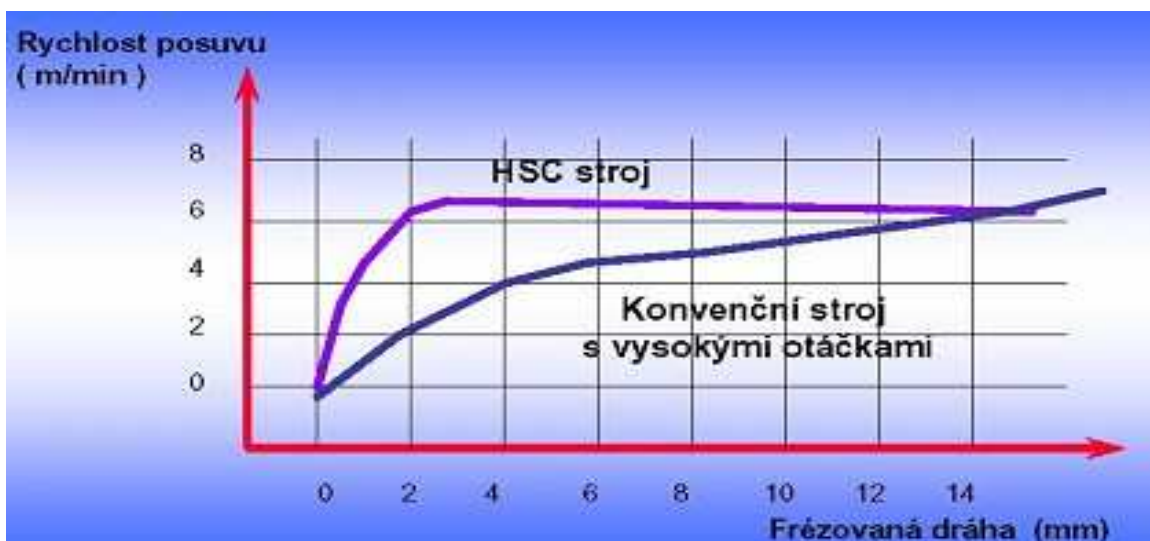
### 2.1.2 HSC obráběcí stroje - charakteristika

Aspekty současného vývoje obráběcí techniky znamenají zrod nové generace HSC obráběcích strojů, které mají v porovnání s konvenčními stroji značně odlišné priority konstrukčního řešení. Pracují převážně v podmínkách vícesměnného nebo nepřetržitého provozu.

HSC stroje mají nejen vysoké otáčky vřeten ( $n=10000-80000\text{min}^{-1}$ ) a vysoké hodnoty pracovních posuvů ( $v_f=7-40\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ), ale i velmi krátké vedlejší časy dosahované vysokými rychloposuvy (viz obr. 2.1.1), krátkými časy pro výměnu nástrojů i rychlou výměnu obrobků. Řezná rychlost ( $v_c$ ) je 5-10 x vyšší, než u konvenčního obrábění.

Objem odebrané třísky u HVC dosahuje až  $1000\text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ .

Je nutné překonat mnoho překážek, mezi které patří zejména až nepřiměřené ceny nových nástrojů a informačních technologií, přímých pohonů, vysokootáčkových vřeten a jiných konstrukčních uzlů. Pouze optimalizace a vyváženost konstrukce těchto strojů při modulárním, stavebnicovém řešení jejich uzlů, podskupin i systémových seskupení může zajistit nejvyšší užitnou hodnotu, kvalitu a prodejní úspěch v podmínkách silné konkurence ostatních výrobců HSC strojů.



Obr. 2.1.1 Porovnání stroje konvenčního a HSC [4]

S tímto také úzce souvisí výhodnost sdružování výrobců HSC obráběcích strojů a vytváření společných výzkumných a vývojových center, které odevzdávají získané poznatky spolupracujícím a zainteresovaným, přímo si nekonkurujícím podnikům.

Sdružením výzkumného a vývojového úsilí i prostředků je možné zabránit mnohým mylným rozhodnutím a spoluvytvářet spolehlivé informace pro rozhodnutí vrcholového managementu. [3]

Výhody HSC:

- Zvýšení podílu tepla odváděného třískou
- Snížení tepla odváděného obrobkem (nejsou tepelné deformace)
- Zvýšení rozměrové přesnosti obrobku
- Zlepšení integrity obrobeného povrchu, tzn. úplné odstranění dokončovacích operací
- Malé hloubky řezu  $a_p$ , čímž se zvýší trvanlivost vřetena a vedení
- Drsnost nižší než  $R_a \sim 0,2\mu m$
- Možnost obrábění velmi tenkých obrobků

Nevýhody HSC:

- Nákladné strojní vybavení
- Speciální (drahé) nástroje a řezné materiály
- Speciální upínání řezných nástrojů a obrobků
- Využití poměrně drahého výrobního zařízení a nářadí

### 2.1.3 Přednosti mikrofrézování

Praktické pravidlo, kdy končit s frézováním, nelze stanovit. Všichni se většinou shodují na zásadě, že co lze na jedno upnutí na frézce ofrézovat, to se ofrézuje.

Limitní hranice možného frézování je pro každého někde jinde. Pro definování pomyslné hranice mohou sloužit následující obecná charakteristika předností mikrofrézování před EDM:

- celková úspora výrobního času
- úspora nákladů na elektroerozi
- úspora nákladů na modelování elektrody
- úspora nákladů na výrobu elektrody
- obrábění na jedno upnutí (odpadají chyby přesnosti při přepínání obrobků)
- úspora pracnosti při ručním leštění (jiskřený povrch se hůře zalešťuje, hlavně hluboká žebra)
- obrábění velkých dílů (pracovní prostor frézky je většinou větší než vana hloubičky )
- problém s časovou koordinací operací frézování a erozí



#### 2.1.4 Nedostatky mikrofrézování

- nelze frézovat ostré rohy
- hranice dosažitelné hloubky drážky je cca 20 – 25 D nástroje, ale snížení hloubky řezů a posuvů v závislosti na délce nástroje vede k několikanásobnému prodloužení času obrábění a tudíž je výroba elektrody a následné elektroerosivní obrábění výhodnější
- mikrofrézování klade extrémní nároky na HW PC (výpočty mikrodrah), CAM a strojové vybavení
- dalším nedostatkem je nemožnost vizuální a sluchové kontroly u mikrofréz do  $\varnothing D=0,5\text{mm}$ , proto by měl řídicí systém stroje být schopen průběžně tyto mikrofrézy laserem kontrolovat

#### 2.1.5 Integrita povrchu při mikrofrézování

- Pod pojmem integrita se rozumí ovlivňování funkčnosti povrchu výrobními metodami.
- Řezný nástroj není nikdy ideálně ostrý = vznik deformací pod obrobenou plochou.
- Mechanismus tvorby zpevněné vrstvy vychází z mechanismu tvorby třísky.
- Na zpevnění mají vliv vlastnosti materiálu – druh mřížky:
  - Hexagonální – malá plastická deformace
  - Kubická plošně centrovaná – velká plastická deformace
  - Kubická prostorově centrovaná – (přechod mezi předchozími případy)
- Kritéria hodnocení zpevnění a jejich měření:
  - Stupeň zpevnění
  - Hloubka zpevnění

- Určují se měřením mikrotvrdosti – podle hloubky ovlivněné vrstvy se používají metody:
  - Postupné odleptávání povrchových vrstev – není možné opakovat měření.
  - Metody kolmých řezů – používá se tam, kde zpevnění zasahuje do hloubky 0,5-1mm
  - Metoda šikmých řezů – používá se tam, kde zpevnění zasahuje do malé hloubky

#### 2.1.6 Zbytková napětí, podstata, metody, hodnocení

- Zbytková napětí jsou projevem použitých technologií obrábění.
- Zůstanou v součástkách po výrobním procesu a působí bez vnějšího zatížení.
- Zbytková napětí ovlivňují funkčnost obrobených povrchů.
- Zbytková napětí rozdělujeme následovně:
  - Podle příčin, které napětí vyvolaly (tahová, tlaková, vnitřní, vložená).
  - Podle působení (napětí okamžité nebo trvalé).
  - Podle objemu, ve kterém dosahuje napětí vnitřní rovnováhy
    - Napětí 1 druhu – zasahují celý objem součásti.
    - Napětí 2 druhu – zasahují několik zrn.
    - Napětí 3 druhu – projevují se v objemu několika atomových vzdáleností.

- Příčiny vzniku zbytkového napětí.
  - Nerovnoměrná fázová transformace.
  - Nerovnoměrné teplotní ovlivnění.
  - Nerovnoměrná plastická deformace.

Metody hodnocení:

- Mechanické metody – nejpoužívanější metoda – destruktivní. Určují se Napětí 1 druhu. Zbytkové napětí se určí na základě deformace vzorku.
- Rentgenová tenzometrie - Určují se Napětí 1 a 2 druhu. Na základě vnikání paprsků do materiálu.
- Neutronová tenzometrie – Jako u rentgenové tenzometrie.
- Magnetická metoda – využívají vlivu zbytkových napětí na tvar hysterezní smyčky.

Ultrazvukové metody – jsou založené na vztahu mezi mechanickým napětím, plastickými vlastnostmi a rychlostí nebo útlumem šíření vln.

#### 2.1.7 Mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobené plochy

Mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobené plochy

V důsledku řezného procesu dochází ke změnám mechanických vlastností povrchové vrstvy obrobené plochy, k nimž patří zejména – *strukturní změny, různé vady, zpevnění, zbytková napětí* atd.

Zpevnění povrchové vrstvy obrobené ploch lze kvantifikovat hodnotou mikrotvrdosti.

Podmínkou vzniku zbytkových napětí v povrchové vrstvě je nerovnoměrná plastická deformace.

Základními mechanismy vzniku zbytkových napětí v povrchové vrstvě jsou:

- nerovnoměrná plastická deformace
- teplotní roztažnost při nerovnoměrném ohřevu nebo ochlazování
- strukturní změny materiálu v tuhém stavu (dochází k nim za vysokých teplot, např. broušení)
- chemické procesy - vznikají chemické sloučeniny s odlišnou hustotou - v důsledku difuze a působení rezného prostředí

Pokud převažuje při obrábění plastická deformace (bez výrazného tepelného účinku), v naprosté většině případů dochází k vytvoření tlakového napětí na povrchu. Toto je z hlediska funkce povrchu součásti výhodné, se zřetelem na to, že případné zárodky trhlin jsou tlakem zavírány.

Při současném tepelném a mechanickém zatěžování povrchu je horní, nejteplejší část povrchové vrstvy při obrábění plasticky zkrácena. Při chladnutí se pak v této zkrácené vrstvě tvoří tahové napětí, což je z hlediska funkčních vlastností povrchu nevýhodné, protože může dojít k únavovým lomům a vzniku trhlin.

Strukturní a chemické změny způsobí buď zvětšení objemu (tlak) materiálu, kterému brání okolní materiál, který zůstal nezměněn, nebo dochází ke zmenšení objemu (tah) [10]

## 2.2 Elektroerosivní obrábění

Elektrickou erozí nazýváme fyzikální jev, způsobující odebrání povrchových vrstev materiálů účinkem tepelného a tlakového působení.

Charakteristický znak je, že úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými výboji mezi nástrojem a obrobkem. Základem úběru materiálu je elektroeroze, kdy vlivem vysoké koncentrace energie ( $10^5$  až  $10^7$  W.mm<sup>-2</sup>) materiál taje a odpařuje se.

Elektroerosivní obrábění je založeno na principu dvou elektrod (z vodivého materiálu), oddělených jiskrovou mezerou velikosti 0,01 až 0,5mm a ponořených v dielektrické kapalině, což je většinou kapalina s vysokým elektrickým odporem.

Celkový proces se skládá ze střídavých výbojů mezi anodou (nejčastěji ji tvoří nástrojová elektroda) a katodou (nejčastěji ji tvoří obrobek) po celé aktivní ploše nástroje (viz obr. 2.2.1).

Při každém výboji dojde k narušení materiálu a vytvoří se kráter. Z obráběného materiálu jsou tavením a odpařováním oddělovány velmi malé částice ve tvaru dutých kuliček a jsou odplavovány dielektrickou kapalinou.

Elektroerozi podléhají všechny elektricky vodivé materiály. Vhodným zapojením a volbou pracovních parametrů elektrického obvodu lze dosáhnout dvou druhů výbojů:

- oblouk, tj. stacionární výboj
- jiskra, tj. nestacionární výboj

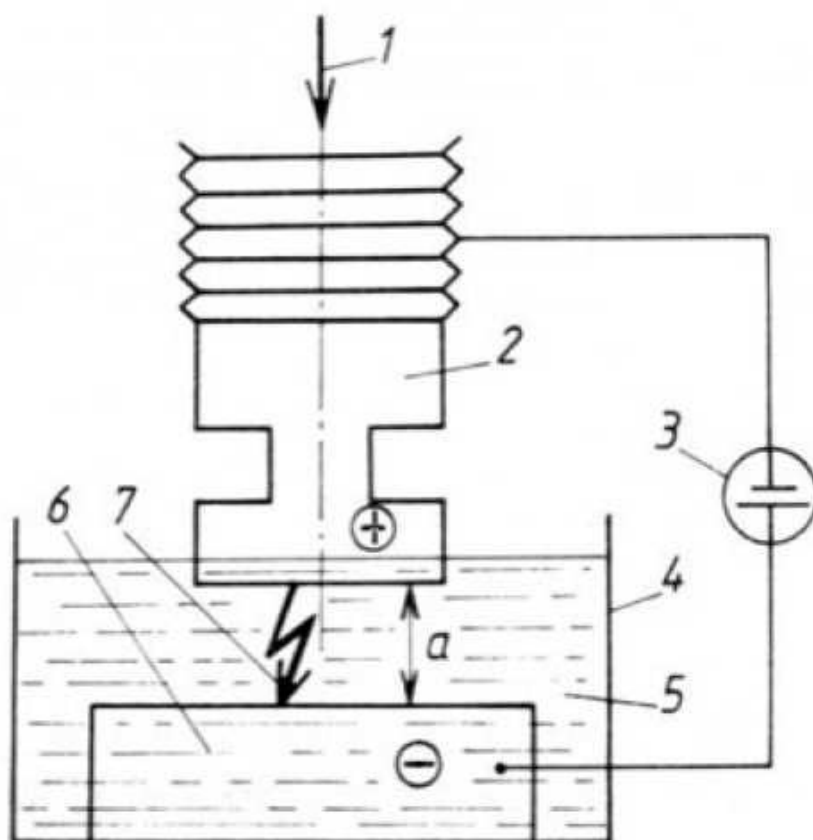


Intenzita působení výboje závisí na:

- elektrických parametrech výboje
- vzdálenosti mezi elektrodami
- znečištění a vodivosti dielektrika

Elektroerosivní obrábění se používá pro:

- hloubení dutin zápuštěk a forem
- výrobu složitých tvarových povrchů
- řezání drátovou elektrodou
- leštění povrchů
- výrobu malých otvorů (mikroděrování)
- elektrokontaktní obrábění



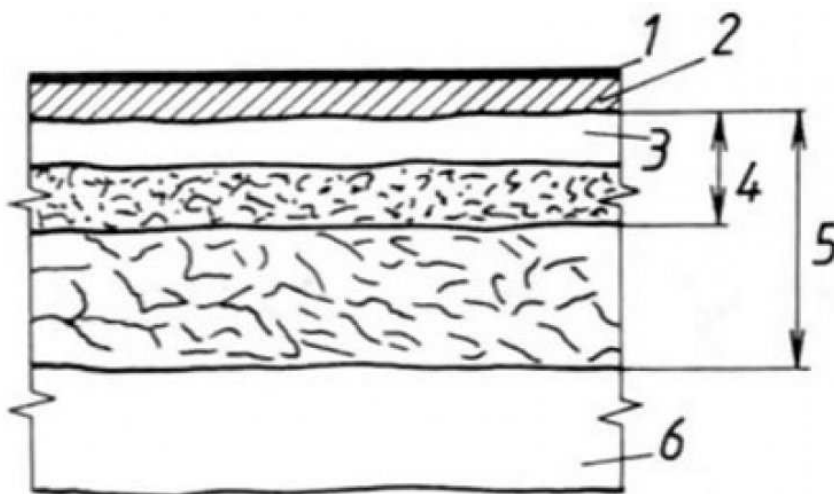
Obr. 2.2.1 Princip zařízení pro elektroerosivní obrábění 1 – směr posuvu nástrojové elektrody, 2 – nástrojová elektroda, 3 – generátor, 4 – pracovní vana, 5 – tekuté dielektrikum, 6 – obrobek, 7 – elektrický výboj [5]

## 2.3 Základní metody elektroerosivního obrábění

### 2.3.1 Elektrojiskrové hloubení

Elektrojiskrové hloubení je základní metoda EDM. Používá se většinou na vnitřní plochy složitých tvarů, zápustek, střížných nástrojů, apod.

Kvalita povrchu opracované plochy je dána její drsností a také jejím stavem, tzn. složením (viz obr. 2.3.1). Dosahovaný úběr materiálu obrobku činí 8 až 10  $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Výroba složitých tvarových povrchů se od hloubení dutin zápustek a forem technologicky liší v provedení nástrojové elektrody a ve tvaru obráběného povrchu. Obráběný povrch je tvořen vnějším tvarem, drážkou nebo průchozí dírou. Obrábění složitých tvarových povrchů je možné při použití stroje s CNC řídicím systémem s více řízenými souřadnými osami; např. tři přímočaré posuvné pohyby ve směru tří vzájemně kolmých os a dva otáčivé pohyby, jejichž složením lze získat planetový pohyb.



Obr. 2.3.1 Složení povrchu opracované plochy

- 1–mikrovrstva tvořená chemickými sloučeninami vzniklými difuzí prvků dielektrika, 2–vrstva obsahující prvky materiálu nástrojové elektrody,
- 3–tzv. bílá vrstva (silně nauhličená znovu ztuhlá tavenina martenzitické struktury), 4–pásma tepelného ovlivnění (zakalený a popuštěný základní materiál obrobku), 5–pásma plastické deformace vyvolané rázy pulzů,
- 6–základní materiál obrobku [5]

Výhody:

- možnost obrábění vodivých materiálů bez ohledu na jejich mechanické vlastnosti
- velký rozsah pracovních parametrů
- možnost výroby součástí složitých tvarů
- na obrobek nepůsobí žádné mechanické zatížení
- snižuje se pracnost při výrobě ploch složitých tvarů
- jednoduchá výroba nástrojových elektrod
- na hranách obrobku nejsou otřepy
- snadná automatizace výrobního procesu

Nevýhody:

- nutnost ponoření obrobku do kapaliny v průběhu obrábění
- nízká produktivita při obrábění měkkých materiálů
- jakost obrobeného povrchu při srovnání s mikrofrézováním

### 2.3.2 Elektrojiskrové řezání

Platí zde stejné fyzikální zákonitosti elektrické eroze jako u hloubení. Metoda umožňuje vyrábět plochy mající přímku jako tvořící křivku.

Rozdíl oproti elektrojiskrovému hloubení je v nástrojových elektrodách a v systému podávání a vedení drátové elektrody.

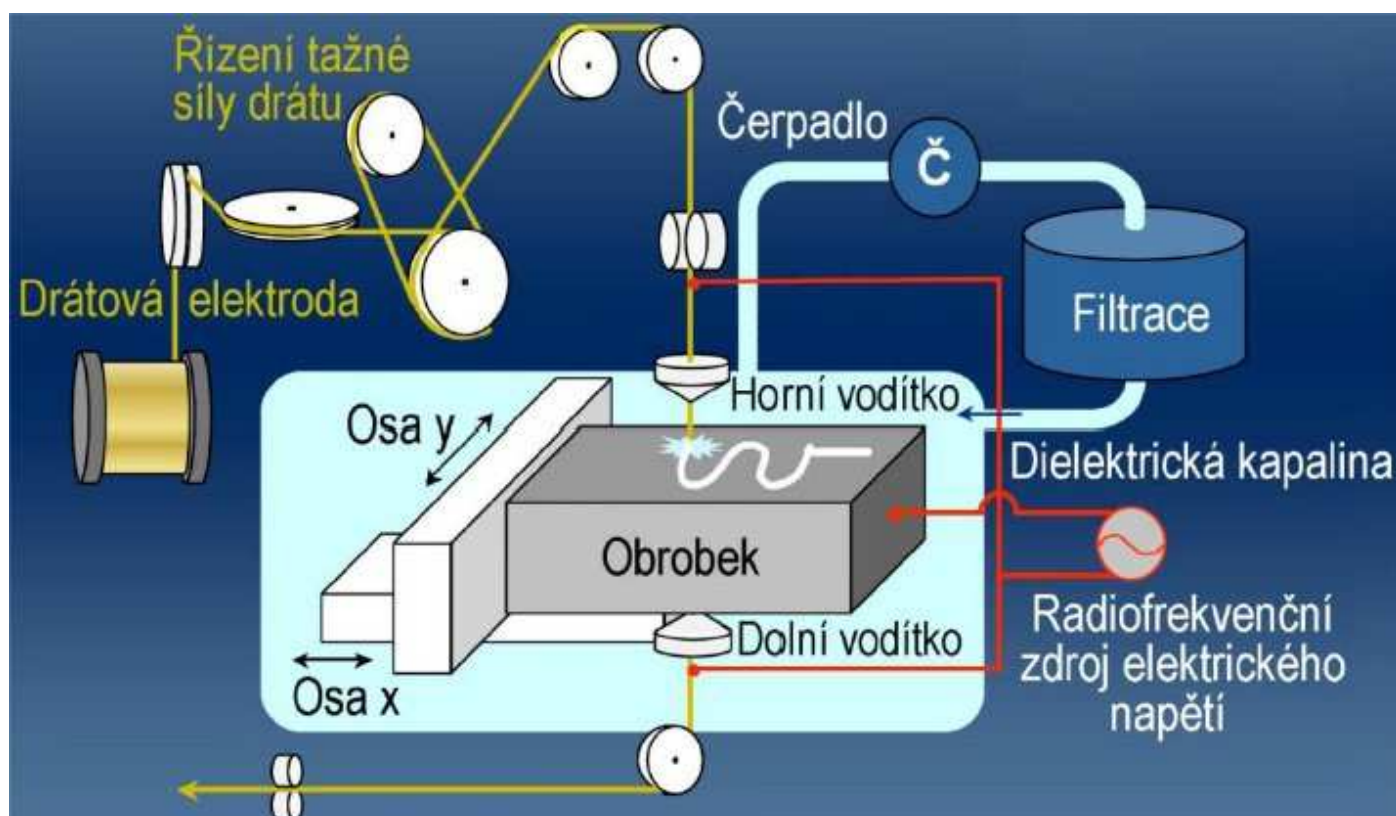
Tato metoda se vyznačuje minimální šířkou řezu a uplatňuje se při výrobě střížných a lisovacích nástrojů a při dělení velmi tvrdých a pevných materiálů.

Elektrodou je tenký drát, který se průběžně odvíjí z cívky a přes vodící zařízení prochází místem řezu.

Drát je napínán konstantní silou a prostor mezi obrobkem a drátem je zaplněn dielektrickou kapalinou. Aby se předešlo jeho nadměrnému opotřebení, odvíjí se pomocí speciálního napínacího mechanismu (viz obr. 2.3.2).

Elektrody jsou vyráběny z mědi a jejich slitin, molybdenu, případně povlakované dráty obsahující vysoké procento zinku. Mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem vznikají elektrické výboje. Systém umožňuje naklopení nástrojové elektrody, vzhledem ke svislé ose v rozsahu  $\pm 30^\circ$ .

Pro zajištění automatizovaného procesu obrábění jsou moderní stroje vybaveny automatickým vrtáním díry pro zavedení drátu, automatickým zavedením drátu na počátku práce do vyvrtané díry a adaptivním řízením.



Obr. 2.3.2 Schéma elektrojiskrového řezání [15]

Přesnost vyřezaných tvarů je dána vlastnostmi stroje, přesností vedení a napnutí drátu, přesností a spolehlivostí CNC řídicího systému, stabilitou nastavených pracovních parametrů generátoru a kvalitou přívodu a čištění dielektrika.

Je důležité, aby nástrojová elektroda vstupovala do místa řezání dokonale napnutá a vyrovnaná. Při řezání drátovou elektrodou lze dosáhnout maximálního úběru materiálu  $35 \text{ až } 200 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ . Jakost obrobeného povrchu  $R_a = 0,15 \text{ až } 0,3 \text{ } \mu\text{m}$ . Maximální tloušťka řezaného materiálu je 350 mm.

### 2.3.3 Dielektrikum

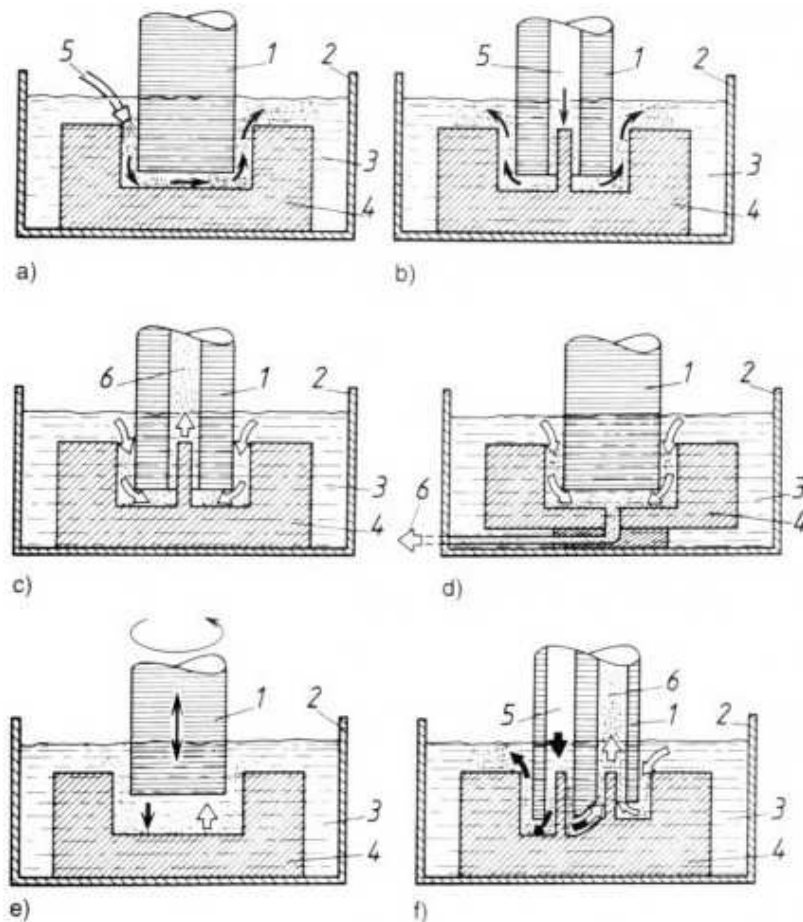
Jako dielektrika se používají: strojní olej, transformátorový olej, petrolej, destilovaná voda, deionizovaná voda a speciální dielektrika, dodávaná výrobcí strojů.

Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu, tzv. vyplachování, je možné realizovat několika způsoby (viz obr. 2.3.3):

- vnější vyplachování se nejčastěji používá při obrábění dutin o větší hloubce; je vhodné použít jej v kombinaci s pulzním vyplachováním (viz dále)
- vnitřní tlakové vyplachování, zde je dielektrikum přiváděno otvorem v nástrojové elektrodě přímo do pracovního prostoru, nevýhodou je menší tvarová přesnost boků vyráběné dutiny
- vyplachování odsáváním se realizuje odsáváním dielektrika dutinou v nástrojové elektrodě nebo v obrobku, vyznačuje se velmi dobrou tvarovou přesností obráběné dutiny



- pulzní vyplachování: je charakterizováno přerušením procesu elektroeroze na 0,15 až 10 s za současného oddálení nástrojové elektrody od obrobku o 0,02 až 10 mm, čímž se zvětší pracovní mezera mezi obrobkem a elektrodou, a dosáhne se tak jejího dokonalého vypláchnutí, tento způsob vyplachování je výhodný při výrobě hlubokých dutin, při použití tenkých elektrod nebo při obrábění načisto, moderní CNC řídicí systémy umožňují pulzní způsoby vyplachování naprogramovat
- kombinované vyplachování: jedná se o kombinaci vnitřního tlakového vyplachování a odsávání, čímž lze dosáhnout přesných tvarů obráběné dutiny; používá se zejména při hloubení tvarově složitých dutin



Obr. 2.3.3 Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu–vyplachování

a)vnější, b)tlakové vnitřní, c), d)odsáváním, e)pulzní, f)kombinované 1–  
nástrojová elektroda, 2–pracovní vana, 3–dielektrikum, 4–obrobek, 5–  
přívod dielektrika, 6–odsávání dielektrika [5]

#### 2.3.4 Nástrojové elektrody

Jako nástroje se u elektroerosivního obrábění používají nástrojové elektrody, které jsou důležité z hlediska technického (určují přesnost rozměrů, jakost obrobené plochy a výkon obrábění) i ekonomického.

Nástrojová elektroda se navrhuje a konstruuje pro každý případ obrábění samostatně. Náklady na její zhotovení činí až 50 % z celkových výrobních nákladů.

Důležité je volit velmi pečlivě materiál, způsob výroby a také způsob upínání ve vřetenu podle použitého stroje. U strojů s automatickou výměnou elektrod také uložení a identifikaci elektrody v zásobníku nástrojů.

Materiály pro výrobu elektrod:

a)kovové:

- elektrolytická měď
- slitina wolframu a mědi
- slitina wolframu a stříbra
- ocel
- slitina chromu a mědi
- mosaz

b)nekovové:

- grafit
- kombinované: kompozice grafitu a mědi

Materiál nástrojové elektrody se volí podle materiálu obrobku, použitého stroje a relativního objemového opotřebení nástrojové elektrody.

U moderních elektroerosivních strojů s automatickou výměnou nástrojových elektrod je výhodné rozdělit celkový tvar obráběné dutiny na jednodušší, snadněji a přesněji vyrobitelné tvary: kruhy, obdélníky, čtverce, trojúhelníky apod.

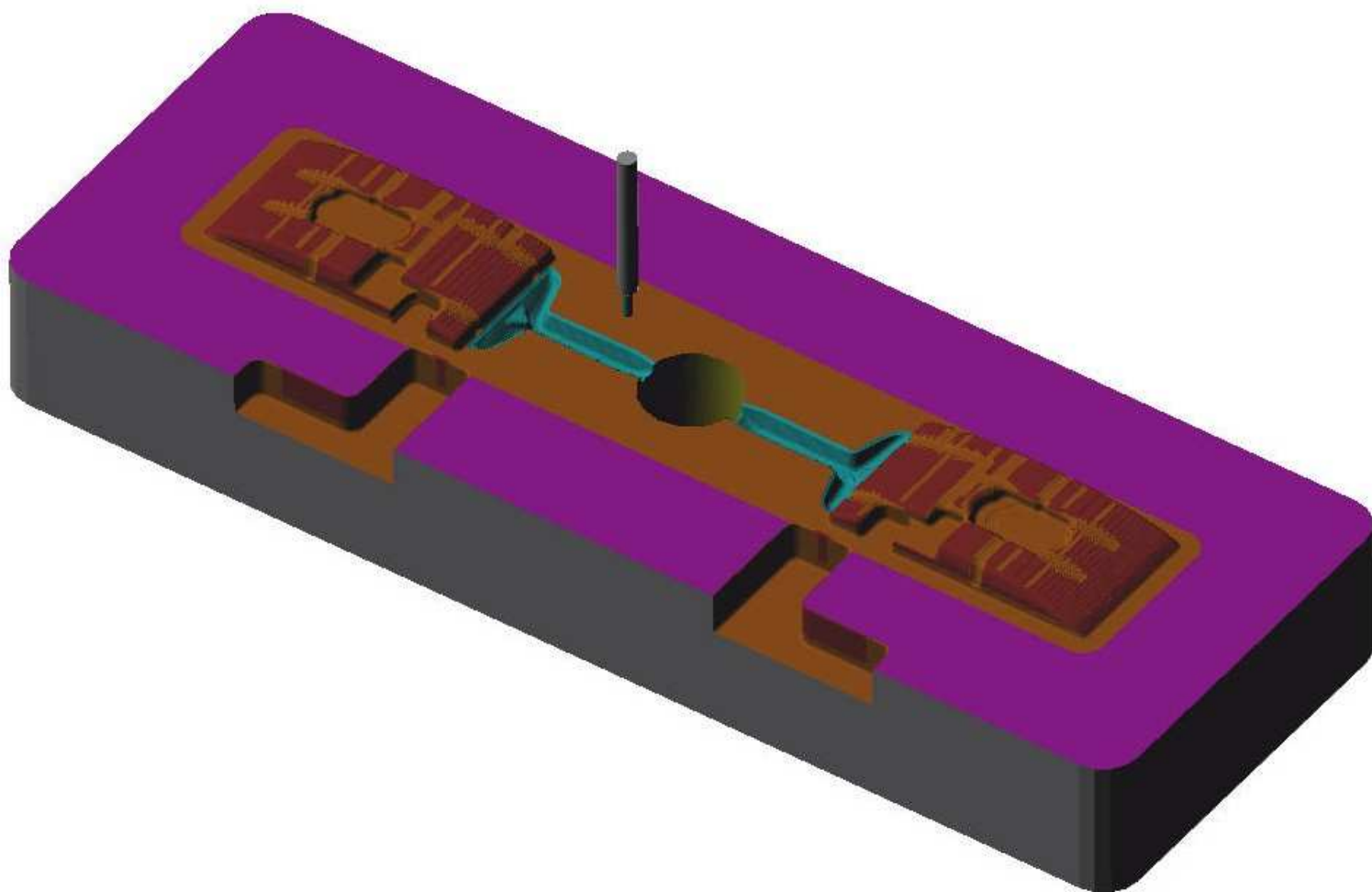
Další možnost zjednodušení tvaru nástrojové elektrody poskytuje CNC řídicí systém, který umožňuje vhodnou kombinací tvaru a pohybu elektrody vyrobit tvarově velmi složité dutiny. [5]

Při stanovení rozměrů nástrojových elektrod se vychází:

- z požadovaného rozměru dutiny
- z velikosti pracovní mezery, která je funkcí pracovních parametrů generátoru (volí se z podkladů dodávaných výrobcem strojů)
- z požadované drsnosti obrobeného povrchu, která je funkcí pracovních parametrů generátoru a tvarové chyby vzniklé např. při hrubování (dané způsobem vyplachování, tvarem dutiny apod.)
- z tloušťky narušení obrobeného povrchu-má význam pouze při velkých energiích výbojů (obvykle dosahuje hodnot 0,005 až 0,01 mm)
- z minimální hodnoty, o kterou musí být nástroj menší, aby se dosáhlo požadovaného rozměru dutiny

### 3. Návrh výroby součásti elektroerosivním hloubením

Pro výrobu vložky (viz příloha A) pro plastový díl elektroerosivním hloubením byl použit materiál 19552, zakalený na tvrdost 48HRc  $\pm 1$ . Ekvivalent DIN:X38CrMoV51, EN ISO 4957 – 1.2343.



Obr. 3.1 Vyfrézovaná vložka s přídavkem 0,3mm na stranu

### 3.1 Návrh technologického postupu

Před vlastním elektroerosivním hloubením vložka projde tímto technologickým postupem:

- Řezat materiál na rozměry 262mmx94mmx40mm
- Materiál zúhlovat na rozměr 260mmx92mmx38mm s přídávkem 0,3mm na stranu a odlehčit rohové rádiusy o 0.3mm
- Na spodní straně vložky zhotovit závity M8x1 na hotovo
- Horní stranu vložky frézovat s přídávkem 0,3mm a vyvrtat otvor s přídávkem 0.5mm na stranu
- Kalit na tvrdost 48HRc $\pm$ 1
- Vložku brousit na předepsané rozměry a dodržet přídavek 0,3mm u tvaru
- Kontrola po broušení
- Frézovat kapsy a vyvrtávací hlavičkou zhotovit otvor o průměru 22mm v předepsaných tolerancích
- Kontrola po frézování
- Vlastní hloubení vložky
- Omývání a osušení
- Celková kontrola


### 3.2 Posouzení použitých elektrod

Elektrody použité pro výrobu vložky (viz.tab. č. 3.2.1 ) jsou z jemnozrnného grafitu HK-75, vyznačující se vynikajícími vlastnostmi (viz.obr. 3.2.1). Tyto grafity dodává firma TOKAI CARBON EUROPE. Elektrody jsou znázorněny na obr. 3.2.2 , 3.2.3, 3.2.4.

Název	Pozice	mat. GRAFIT	Číslo elektrody	Jednostranná spára s tolerancí +0,01 x počet ks		Zpracování elektrod			Polotovary elektrod
				Hrubovací	Dokončovací	Fréz.	Drát.	Soustr.	
Vložka AS	009	HK-75	E1	0,15 x 1	0,1 x 2	x			70x40x38
Vložka AS	009	HK-75	E2		0,15 x 1	x			25x25x38
Vložka AS	009	HK-75	E3		0,15 x 2	x			40x40x38

Tabulka 3.2.1 Použité elektrody

Grafit > Řada > HK-75



**HK - 75 : Přesný stupeň**

**Použití :**  
Ideální tam, kde je vyžadována vysoká kvalita povrchu a nízké opotřebení řezné hrany. Pro „high end“ plastové formy

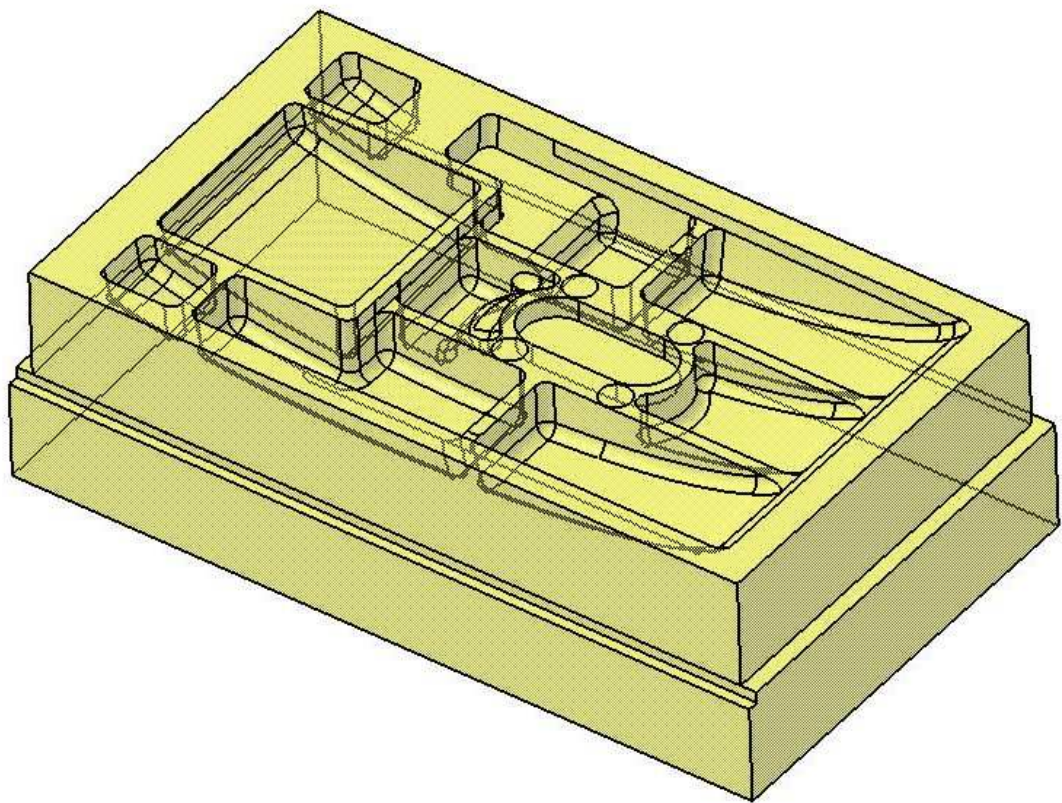
**Kvalita povrchu :**  
1µmRa, 40µinchRa, 20VDI

**Velikost bloku :**  
230 × 455 × 1245 mm  
215 × 590 × 740 mm

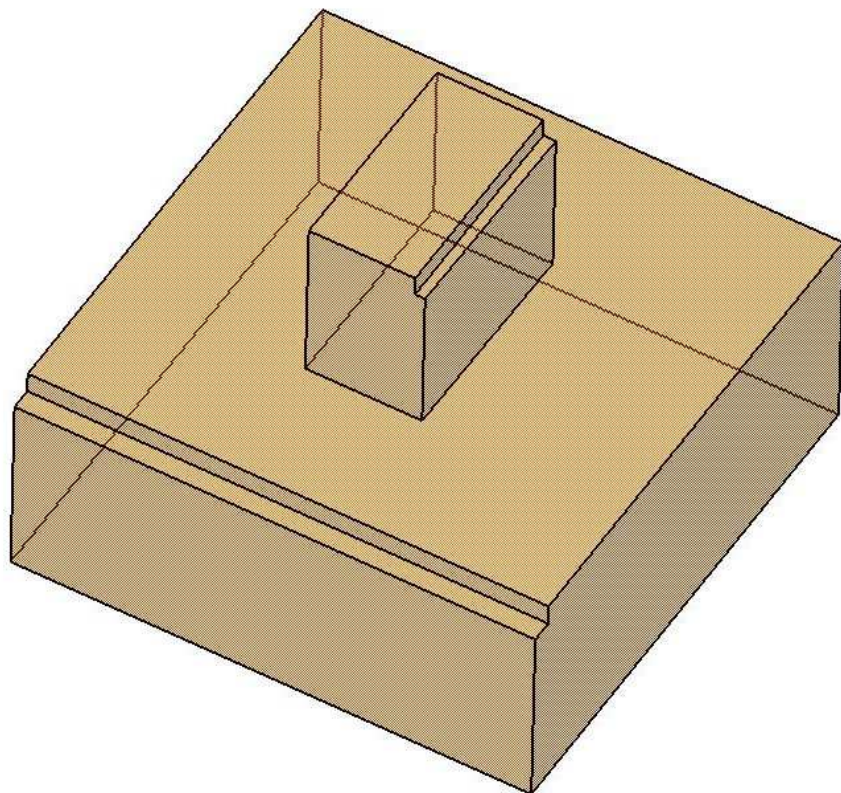
Specifická hustota	Měrný odpor	Pevnost v ohybu		Shore tvrdost	Průměrná velikost zrna
(-)	(µΩm)	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	(-)	(µm)
1.82	16.5	670	66	72	4

Obr. 3.2.1 Charakteristika grafitu HK-75 [9]

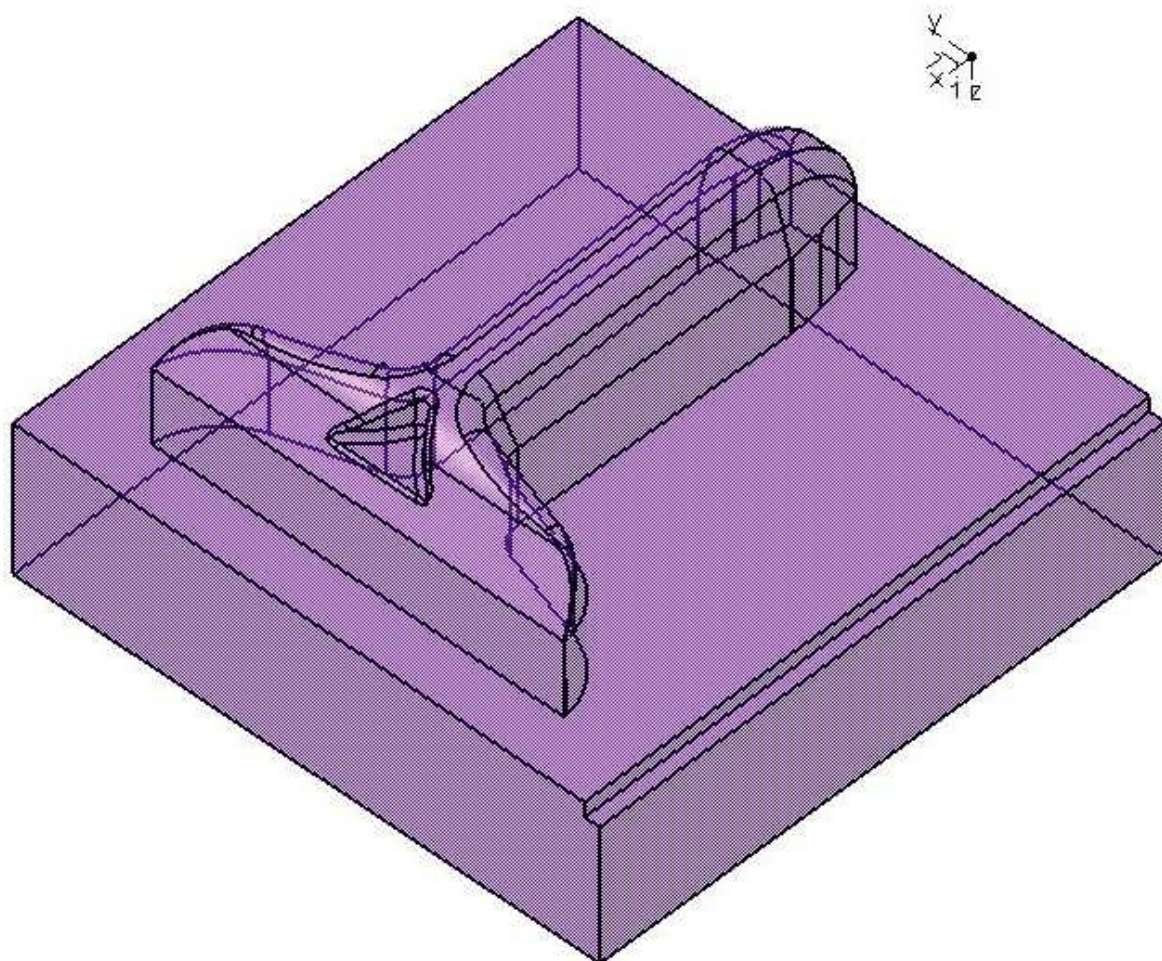




Obr. 3.2.2 Elektroda E01



Obr. 3.2.3 Elektroda E02



Obr. 3.2.4 Elektroda E03



### 3.3 Technické parametry použitého stroje

Použitý stroj při elektroerosivním hloubení je ROBOFORM 35P (viz.obr. 3.3.1) od předního Švýcarského výrobce CHARMILLES ROBOFORM .



Obr. 3.3.1 ROBOFORM 35P

## Technické parametry - ROBOFORM 35P:

### Stroj

Architektura: kompaktní stroj s fixovaným stolem

Rozměry (šířka x hloubka x délka): 1,9m x 1,68m x 2,35m

Celková hmotnost: 2800kg

### X, Y a Z osy

X, Y, Z dráha: 0,35m x 0,25m x 0,3m

Systém měření a posunu: lineární skleněná stupnice

XYZ – přesnost měření: 0,5 µm

### Pracovní plocha:

Typ nádrže: přídavná nádrž

Rozměry nádrže (šířka x hloubka x délka): 0,8m x 0,55m x 0,37m

Programovatelná dielektrická úroveň min./max.: 0,1m/0,33m

Rozměry stolu (šířka x hloubka): 0,5m x 0,4m

### Elektroda a obrobek

Max. váha elektrody: 50kg

Max. váha obrobku: 500kg

Max. rozměry obrobku (šířka x hloubka x délka): 0,78m x 0,4m x 0,3m nebo 0,6m x 0,53m x 0,3m

Min./max. rozměr mezi stolem a upínacím pouzdrem: 0,15m/0,45m

### Systém dielektrika:

Typ filtrů: 4 papírové kazety

Objem nádrže: 450l

Generátor

Typ: isopulse

Standartní obráběcí proud: 64A

Regulace výkonu: vlastní kontinuální adaptace obráběcího proudu

Mikroobrábění: zvládnutí obrábění malých elektrod

Číslicové řízení

Obrazovka: CRT barevná – 35cm úhlopříčka

Dálkové ovládání: standart

Disková mechanika: 3,5" DOS, 1,44MB

Kontrolované osy: X, Y, Z a C současně

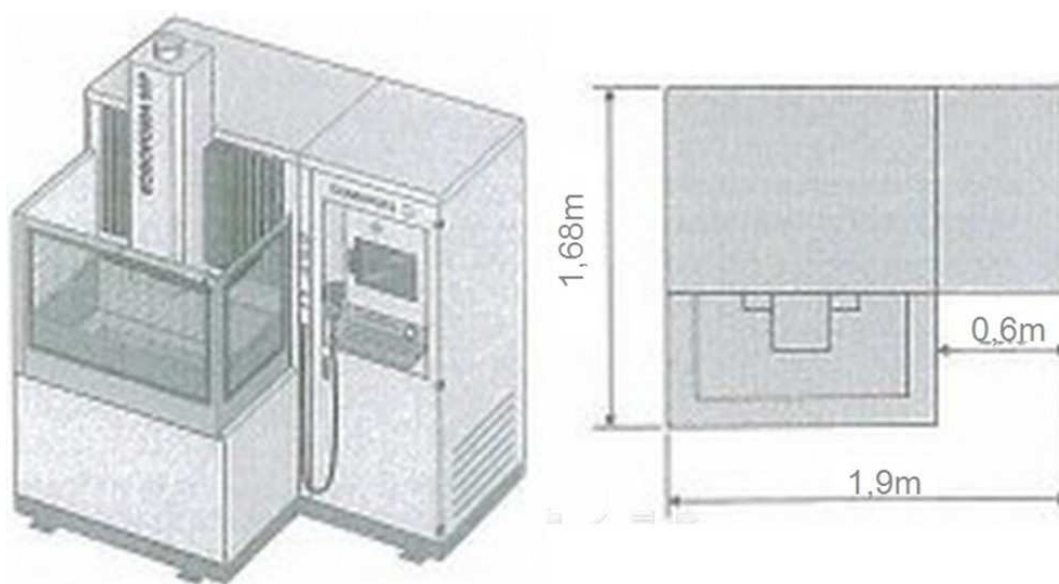
Program: Automatická generace pracovního programu a technologie

Automatický restart/leštění  $R_a 0,1\mu\text{m}$ /autodiagnostika/servo řízená tepelná stabilizace  $\pm 1^\circ$ : standart

Elektrické napájení

Třífázové vstupní napětí: 400V

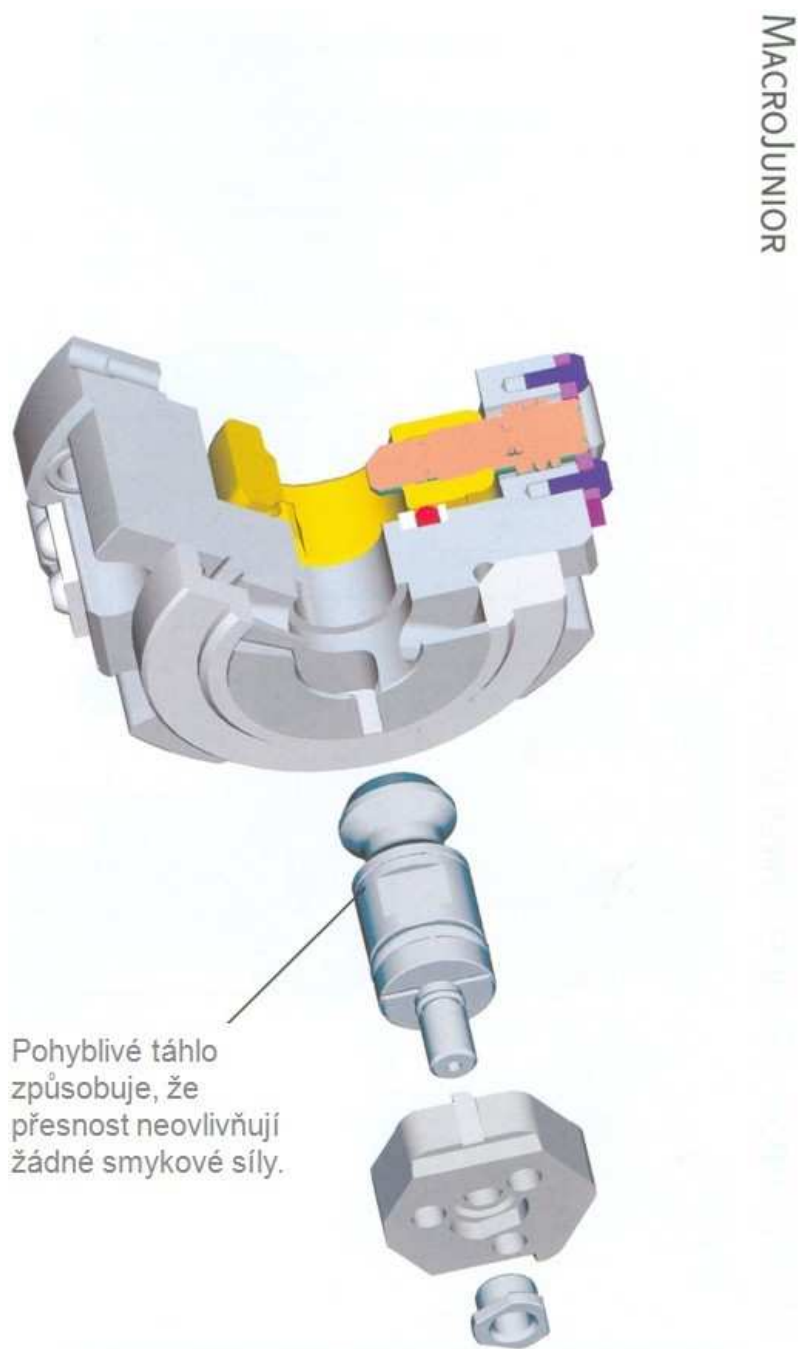
Hlavní frekvence: 50Hz nebo 60Hz



Obr. 3.3.2 ROBOFORM 35P - rozměry

### 3.4 Upnutí a výroba grafitových elektrod

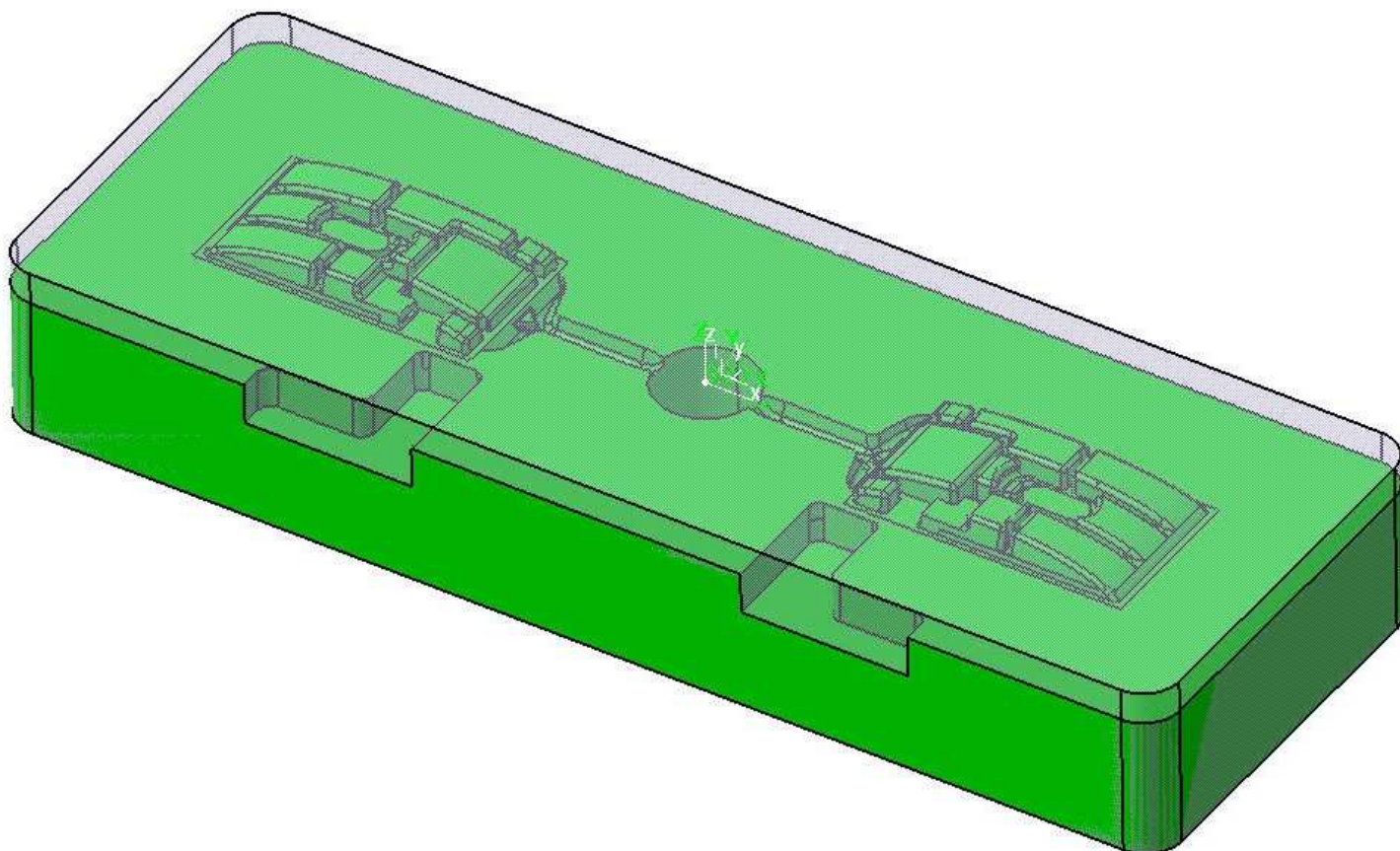
Grafitové polotovary byly upnuty na systém MACRO JUNIOR (viz.obr. 3.4.1) od firmy 3R SYSTEM. Poté byly frézovány na HSC frézce RP800 od firmy RÖDERS a následně měřeny na měřícím stroji 3D IMPACT od firmy METROTEST. Dovolená rozměrová nepřesnost vyrobených elektrod je v tolerancích 0 až -0,01mm.



Obr. 3.4.1 Systém upínání na MacroJunior [11]

#### 4. Návrh výroby součásti mikrofrézováním

Pro výrobu vložky pro plastový díl mikrofrézováním byl použit materiál 19552, zakalený na tvrdost 48HRC  $\pm 1$ . Ekvivalent DIN:X38CrMoV51, EN ISO 4957 – 1.2343. Chemické složení viz. tabulka 4.1, materiálový list viz. obr. 4.2, 4.3.



Obr. 4.1 Vložka zakalená a zbroušená na požadované rozměry

Materiál		Fe	Al	C	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	N	Nb	Ni	P	S	Si	Ti	V	W	Ostatní (max)
19552	min	zbyt		0.32		4.5		0.20	1.1						0.8		0.35		
	max			0.42		5.5		0.50	1.6				0.030	0.030	1.2		0.6		

Tabulka 4.1 Chemické složení 19552(hm. %)

ČSN 41 9552		Nástrojová středně legovaná Cr-Mo-V				OCEL	
STN 41 9552		ocel pro práci za tepla				19 552	
Chemické složení [hm. %]							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V
0,32–0,42	0,20–0,50	0,80–1,20	max 0,030	max 0,030	4,50–5,50	1,10–1,60	0,35–0,60
Polotovary							
[1] tyče válcované nebo kované za tepla (kruhové, čtvercové, ploché)							
[2] vykovky							
Mechanické vlastnosti <sup>1)</sup>							
Polotovary				[1]			
Rozměr d [mm]				20			
Stav				kalený a popuštěný			
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]				1 050–1 650 (při tvrdosti 40–53 HRC)			
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]				1 220–1 880 (při tvrdosti 40–53 HRC)			
Tažnost A <sub>5</sub> [%]				~ 12–15 (při tvrdosti 53–40 HRC)			
Kontrakce Z [%]				~ 53–59 (při tvrdosti 53–40 HRC)			
Vrúbová houževnatost KCU 2 [J.cm <sup>-2</sup> ]				~ 45–88 (při tvrdosti 53–40 HRC)			
Tvrdost HRC				40–53 (K. t. 1 025 °C/olej, P. t. 650–550 °C/2x1h)			
Mez kluzu v tlaku R <sub>pL</sub> [MPa]				1 150–1 750 (při tvrdosti 40–53 HRC)			
Mechanické vlastnosti za zvýšených teplot 200–600 °C, vychází pevnost po kalení a popuštění 1 600 MPa							
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]				1 350–660			
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]				1 520–800			
Tažnost A <sub>5</sub> [%]				12–18			
Kontrakce Z [%]				55–78			
Vrúbová houževnatost KCU 2 [J.cm <sup>-2</sup> ]				95–90			
Fyzikální vlastnosti <sup>2)</sup>							
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Tepelný součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost		Konduktivita	
ρ [kg.m <sup>-3</sup> ]	c <sub>p</sub> [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	α [K <sup>-1</sup> ]		λ <sub>t</sub> [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]		λ <sub>s</sub> [MS.m <sup>-1</sup> ]	
7 790	—	12,4 . 10 <sup>-6</sup>		~ 29		—	
Odolnost proti degradačním procesům							
ODOLNOST PROTI KORÓZI				ODOLNOST PROTI KŘEHKÉMU LOMU			
malá				dobrá			
Technologické údaje							
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ							
žhánění na měkko	780–820 °C	ochlazování v peci, tvrdost max 240 HB					
žhánění ke snížení prnutí	600–650 °C	ochlazování v peci					
kalení	1 000–1 050 °C	ochlazovat v oleji, jednodušší nástroje, tvrdost min 50 HRC					
	1 000–1 050 °C	ochlazovat na vzduchu, členitější nástroje					
prokalitelnost		při kalení do oleje nebo na vzduchu v celém průřezu do 150 mm					
popuštění	550–650 °C	tvrdost podle potřeby					
teploty přeměn	A <sub>c1</sub> ~ 840 °C	A <sub>c3</sub> ~ 870 °C M <sub>s</sub> ~ 280 °C					
závislost tvrdosti na popuštěcí teplotě							
teplota [°C]	500	550	600	625	650		
tvrdost HRC	55	53	50	45	40		
TVAŘITELNOST							
dobrá		teploty tváření 1 100–850 °C					
SVÁŘITELNOST							
obtížná							
OBROBITELNOST		třída obrobitelnosti					
soustružení a hoblování		11b					
frézování a vrtání		11b					
broušení		7b					

Obr. 4.2 Materiálové listy materiálu ČSN 41 9552 – 1/2



Použití					
<p>Nástroje pro stříhání za tepla. Malé až velké, tepelně i mechanicky velmi namáhané nože strojních nůžek, dále střížníky a střížnice při velkých nárocích na houževnatost, zejména při stříhání materiálů větších tloušťek.</p> <p>Nástroje pro tváření za tepla. Malé až středně velké, tepelně velmi namáhané zápusťky i jiné nástroje pro kování na lisech při velkých nárocích na houževnatost. Nástroje je možno chladit při provozu vodou. Menší, ale i rozměrnější i velmi namáhané lisovací trny pro lisování dutých těles. Rozměrnější, velmi výkonné nástroje k protlačování Ni, Cu, Al, Mg, Zn a jejich slitin.</p> <p>Formy. Menší, ale i rozměrnější, velmi výkonné, funkční části forem a lisů, pro tlakové lití Al, Mg, Zn, Pb a jejich</p>					
Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Německo	
X37CrMoV51	ISO 4957	X37CrMoV5-1	EN 96-79	X38CrMoV5.1	DIN 17350-80
Francie		Velká Británie		Rusko	
Z38CDV5 X38CrMoV5	NF A35-590-78 NF A35-590-92	BH11	BS 4659-89	4Cr5MnS	GOST 5050-73
USA		Japonsko		Kanada	
H11 H11 H11 T20811	AISI SAE J438b ASTM A681 UNS	SKD6	JIS G4404-83	—	—
Itálie		Rakousko		Švédsko	
X37CrMoV51KU	UNI 2955-82	W300	VEW-78	—	—
Polsko		Maďarsko		Norsko	
WCL	PN H-85021-85	—	—	—	—
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
913	SFS 913	—	—	X37CrMoSiV5	UNE 36018-94
Čína		Rumunsko		Brazílie	
4Cr5MoSiV	GB 1299-85	39VSiMoCr52	STAS 3611-88	VPC	Br. 400
Poznámky					
<p><sup>1)</sup> hodnoty tvrdosti platí pro referenční vzorky Ø 20 mm</p> <p><sup>2)</sup> fyzikální vlastnosti jsou uvedeny pro stav žháný na měkko a pro teploty 20–100 °C</p>					

Obr. 4.3 Materiálové listy materiálu ČSN 41 9552 - 2/2

Charakteristické vlastnosti a použití 19552:

Barevné označení: hnědá-modrá-zelená. Chrom-molybden-křemík-vanadová ocel ke kalení v oleji a na vzduchu s velmi dobrou prokalitelností, vysokou pevností za tepla a odolností proti popuštění (obdobnou oceli 19 720), velmi dobrou houževnatostí a plastickými vlastnostmi při normálních i zvýšených teplotách, s velmi dobrou odolností proti vzniku trhlinek tepelné únavy a malou citlivostí na prudké změny teplot.

Je vhodná pro tepelné zpracování i na pevnosti přes 1765 MPa a na nástroje chlazené vodou. Je dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná ve stavu žíhaném na měkko.

#### **4.1 Návrh technologického postupu**

Vložka projde tímto technologickým postupem před samotným mikro-frézováním:

- Řezat materiál na rozměry 262mmx94mmx40mm
- Materiál zúhlovat na rozměr 260mmx92mmx38mm s přídavkem 0,3mm na stranu a odlehčit rohové rádiusy o 0.3mm
- Na spodní straně vložky zhotovit závity M8x1 na hotovo
- Kalit na tvrdost 48HRc $\pm$ 1
- Vložku brousit na předepsané rozměry 260mmx92mmx38mm
- Kontrola po broušení
- Frézovat horní stranu vložky v předepsaných rozměrech a tolerancích
- Kontrola po frézování
- Omývání a osušení
- Celková kontrola



## 4.2 Posouzení použitých rezných nástrojů

Nástroje použité na frézování kalené vložky jsou povlakované frézy ze slinutého karbidu a rozlišují se podle typů povlaků, průměrů, rádiusů a jednotlivých délek podbroušení (viz.Nástrojový list). Tyto nástroje vyrábí firma UNION TOOL.

**Projekt:** F:\MP\PROGRAM

---

**Obrobek:** P009-VLOZKA-AS---ROEDERS---NA-HOTOVO

**Program:** 740\_cr

- 740\_cr01 UT-HRRS-S\_D12-R2-L12-L37- HR -PRID.ae-ap=0.2mm
- 740\_cr02 UT-C-CHRS\_D10-R1-L10-L31- HR -PRID.ae-ap=0.2mm
- 740\_cr03 UT-HFB-S\_D6-R3-L9-L9- HR -PRID.ae-ap=0.11mm
- 740\_cr04 UT-C-CHRS\_D10-R1-L10-L31- SL-DNO -PRID.ae=0.2mm-ap=0.00mm
- 740\_cr05 UT-HLB-S\_D3-R1.5-L2.4-L6- HR-TVAR -PRID.ae-ap=0.05mm
- 740\_cr06 UT-HLB-S\_D1.98-R0.99-L1.6-L6- SL-VTOK -PRID.ae-ap=0.00mm
- 740\_cr07 UT-HLRS-D1.5-R0.2-L1.5-L6- HR-TVAR -PRID.ae-ap=0.05mm
- 740\_cr08 UT-HLRS\_D1-R0.1-L1-L6- HR-TVAR -PRID.ae-ap=0.06mm
- 740\_cr09 UT-HLRS\_D1-R0.1-L1-L6- HR-TVAR. -PRID.ae=0.04mm-ap=0.02mm
- 740\_cr10 UT-HLRS\_D1-R0.1-L1-L6- HR-TVAR.. -PRID.ae=0.04mm-ap=0.02mm

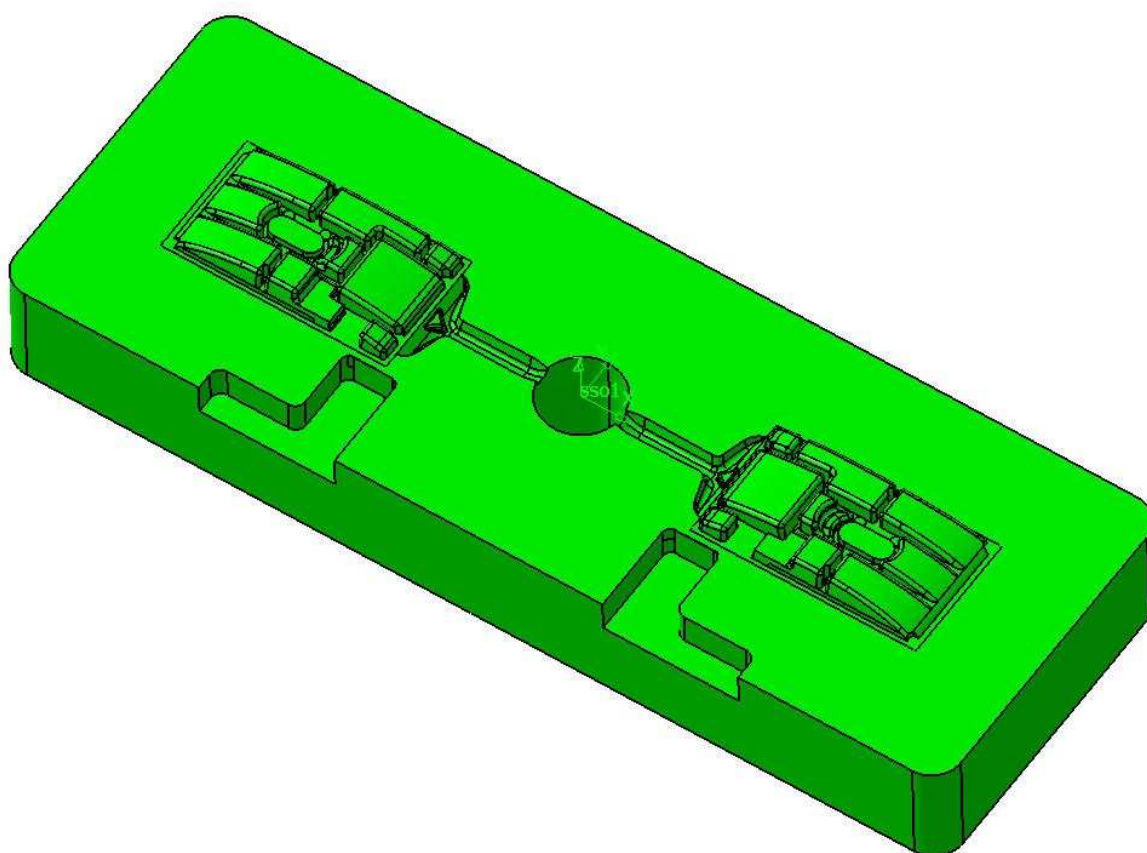
740\_cr11 UT-HLB-S\_D0.98-R0.49-L0.8-L6- SL-TVAR -PRID.ae-ap=0.00mm

740\_cr12 UT-HLB-S\_D0.98-R0.49-L0.8-L6- SL-TVAR -PRID..ae-ap=0.00mm

740\_cr13 UT-HLRS\_D0.99-R0.1-L1-L6- SL-TVAR -PRID.ae-ap=0.00mm

740\_cr14 UT-HLRS\_D0.99-R0.1-L1-L6- SL-TVAR. -PRID.ae-ap=0.00mm

Čas: 707,51 min.



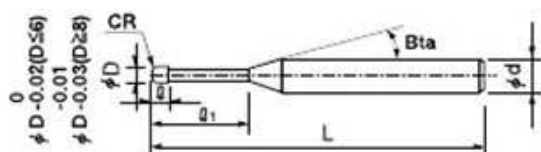
Tab. 4.2.1 Nástrojový list

### 4.3 Technologické parametry použitých nástrojů

Na výkonnost nástrojů s různými PVD povlaky mají vliv vhodně zvolené řezné parametry v závislosti na zvolené strategii obrábění (viz. obr. 4.3.1). Parametry použitých nástrojů při frézování kalené vložky jsou v příloze C.

Speciální geometrie nabízí větší frézovací rozsah

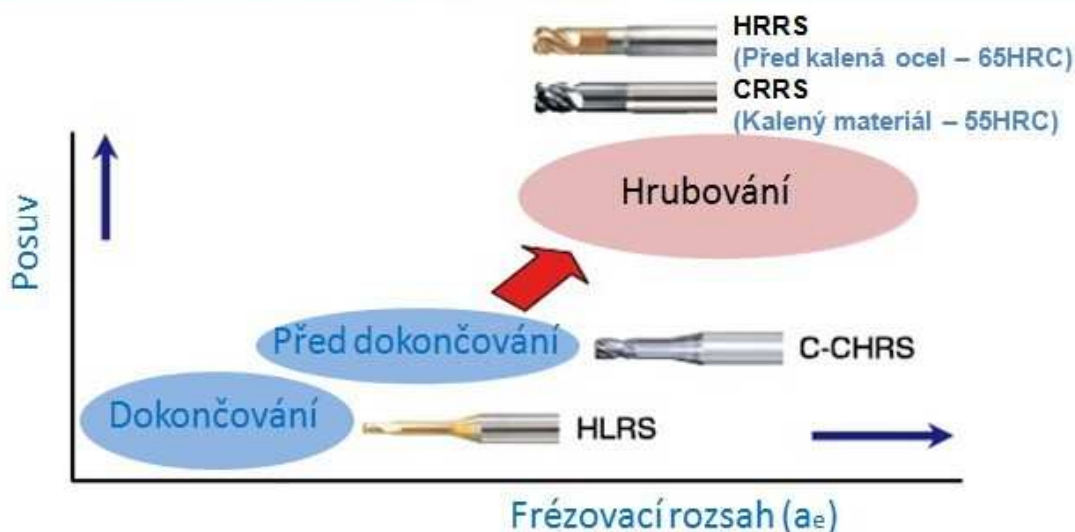
Řezný odpor a vibrování jsou sníženy díky hladkému radiusu



Úhel stopky kužele není zobrazen jako přesná hodnota, aby se zabránilo kontaktu s obrobkem. Doporučujeme uživatelskou kontrolu přesné hodnoty tohoto úhlu. Úhel stopky kužele by neměl být v kontaktu s obrobkem.

#### Unimax End Mills Radius Series

##### Využití radius řady



##### Poloměr rohu fréz cíl tvrdost



Obr. 4.3.1 Příklad strategie obrábění s různými PVD povlaky [13]

#### 4.4 Technické parametry použitého stroje

Použitý stroj při frézování kalené oceli a výrobě elektrod z grafitu je vertikální HSC frézka RP800 (viz.obr. 4.4.1) s řídicím systémem RMS 3.40 od firmy RÖDERS.



Obr. 4.4.1 Vysokorychlostní frézka RP800

#### Technické přednosti frézky: [14]

- programovatelné vysoké rychlosti posuvu, až do 60 000mm.min<sup>-1</sup>
- velké zrychlení ve všech osách, až do 1.3g
- motory, matice kuličkových šroubu a ložiska jsou vodou chlazené a přesně temperovaná
- tělo celého stroje je chráněno vysoko objemovou cirkulací vzduchu proti prachu a nečistotám
- velmi tuhá portálová konstrukce s vhodným vedením
- stroj stojí na třech tlumených nohou, není třeba vyrovnávací
- vysoký výkon vřetena, standard 36000 otáček za minutu, 17 kW s vysokým kroutícím momentem při nízkých otáčkách, vodou chlazené, vřeteno až do 40000 otáček za minutu a 40 kW je možno dokoupit
- vysoká tuhost stoje způsobena hmotností stroje, z toho vyplývá vysoká výkonnost při hrubování
- dlouhá životnost nástrojů díky nízkým vibracím kvůli stabilitě stroje
- pracovní prostor je kompletně uzavřený, redukce hluku a velké okno s bezpečnostním sklem
- velmi dobrý přístup do pracovního prostoru pro operátora
- měnič nástrojů pro 30 pozic, měnič je přístupný separátním vstupem, možnost vložení a vyjmutí nástroje při obrábění
- vřeteno má k dispozici senzor s vysokou přesností
- standardní výbava obsahuje laser pro měření délky a průměru nástroje
- čištění pracovního prostoru separátními vzduchovými tryskami
- možnost výběru mezi chladícími spreji, které jsou ohleduplné k životnímu prostředí nebo standardní chladící kapalinou
- vzduchový čistič pro nástroje je k dispozici
- odvod třísek pomocí dvou dopravníků do velké skříně na zadní straně stroje

#### 4.5 Upnutí řezných nástrojů

Použité frézy byly v maximální možné délce upnuty do tepelných upínačů s označením HSK E50 od firmy HAIMER. Tyto upínače jsou vyvážené na 2.5G do 30.000 otáček vřetene. V příloze B je řez tepelným upínačem HSK E50.



Obr. 4.5.1 Ukázka upnutí tvrdokovových fréz tepelnými upínači HSK E50 v krátkém a dlouhém provedení od firmy HAIMER [12]

## 5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Hlavním cílem výroby dané vložky dvěma technologiemi elektroerosivním hloubením a mikrofrezováním bylo ověření stále více se objevujících požadavků na vysokorychlostní dokončování obráběcího procesu na základě jejich vzájemného technicko – ekonomického porovnání v důsledků snižování výrobních nákladů.

### 5.1 Technologie – elektroerosivní hloubení

- Počet vyráběných vložek: 1ks
- Počet elektrod pro výrobu jedné vložky: 6ks viz. Tab.č. 3.2.1 str.33
- Čas výroby elektrod na frézce RÖDERS RP800:

Název elektrod	počet elektrod [ks]	Čas výroby elektrod [hod]
E1	3	4,9
E2	1	0,1
E3	2	0,5
	6	5,5hod

- Cena opotřebení nástrojů na výrobu všech grafitových elektrod:  
2000Kč
- Cena opotřebení nástrojů při frézování dané vložky s přídávkem 0,3mm:  
1500Kč
- Cena polotovarů elektrod:

Název elektrod	počet polotovarů [ks]	Cena polotovarů
E1	3ks	3000Kč
E2	1ks	300Kč
E3	2ks	1160Kč
		4460kč

- Čas výroby dané vložky na stroji CHARMILLES ROBOFORM 35P:  
23hod.
- Čas namodelování všech elektrod: 1hod
- Čas naprogramování všech elektrod: 1,5hod
- Čas naprogramování vložky s přídávkem 0,3mm: 1hod

**Náklady-elektroerosivní hloubení: 7960 Kč, 36 hodin – viz. kapitola 5.3.1**

## 5.2 Technologie – mikrofrézování

- Cena nástrojů (viz. Nástrojový list - Tab. 4.2.1) str. 44 – 45, použitých při frézování dané vložky je: 18.600Kč

Pro výpočet je cena nástrojů stanovena podle opotřebení nástrojů, které bylo u nástrojů do průměru 2mm včetně 30%.

Toroidní nástroje o průměru 1,5 a 1mm, které byly použity na hrubovací a předdokončovací operace, musí být 100% nahrazeny.

Taktéž musí být 100% nahrazeny i dokončovací rádiusové frézy.

Toroidní nástroje o průměru 1mm a byly použity na dokončovací operace jsou na 50% své životnosti.

Z těchto údajů vyplývá, že cena nástrojů pro výrobu požadované vložky je 10.000Kč.

- Čas frézování dané vložky: 11,8hod
- Čas naprogramování vložky: 3,5hod

**Náklady-mikrofrézování: 10000 Kč, 21 hodin – viz. kapitola 5.3.2**



### 5.3 Porovnání nákladů

Sazba elektroerosivního hloubení:	(X) Kč/hod
Sazba frézování:	(1,25 · X) Kč/hod
Sazba konstruktéra:	(1,75 · X) Kč/hod
Sazba programátora:	(1,75 · X) Kč/hod

Výpočet nákladů:

((Materiálové náklady +(výrobní hodiny · hodinová sazba)) = celkové náklady

Použitá technologie/ Náklady	Čas			Mat. náklady			Celková úspora u dané vložky [%]
	[hod.]	[%]	Úspora[%]	[Kč]	[%]	Úspora[%]	
Elektroerosivní obrábění	36	100	<b>0</b>	7960	80	<b>20</b>	<b>0</b>
Mikrofrézování	21	58	<b>42</b>	10000	100	<b>0</b>	<b>22</b>

Tabulka 5.3.1 Porovnání nákladů

#### 5.3.1 Elektroerosivní obrábění:

##### ➤ a) Kritérium materiálové náklady:

1. Použité frézy pro výrobu grafitových elektrod: 2000Kč
2. Použité nástroje při frézování vložky s přídavkem 0,3mm: 1500Kč
3. Grafitové polotovary: 4460Kč

**7960Kč**

➤ **b) Kritérium času:**

1. Programování dané vložky s přídavkem 0,3mm:	1 ·	(1,75 · X)
2. Konstrukce elektrod:	1 ·	(1,75 · X)
3. Programování elektrod:	1,5 ·	(1,75 · X)
4. Výroba elektrod frézováním:	5,5 ·	(1,25 · X)
5. <u>Elektroerosivní obrábění vložky:</u>	23 ·	(X)

**36hod.**

5.3.2 Frézování:

➤ **a) Kritérium materiálové náklady:**

1. <u>Použité nástroje při frézování do kalené vložky:</u>	<b>10000Kč</b>
--	----------------

➤ **b) Kritérium času:**

1. Programování kalené vložky:	3,5 ·	(1,75 · X)
2. <u>Frézování kalené vložky:</u>	11,8 ·	(1,25 · X)

**21hod.**

## 6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověření vhodnosti mikrofrézování před elektroerosivním obráběním při výrobě dané vložky z nástrojové oceli 19 552 do plastové formy z hlediska snižování výrobních nákladů.

Výroba dané vložky se odlišovala dvěma body, elektroerosivním obráběním a mikrofrézováním. Na základě praktických zkoušek mikrofrézování a elektroerosivního obrábění můžeme udělat tento závěr.

Podle technicko-ekonomického vyhodnocení bylo nejvíce nákladné časové kritérium elektroerosivního obrábění vůči mikrofrézování o **42%**. Zato kritérium materiálových nákladů bylo o **20%** nižší než při mikrofrézování.

Tudíž **úspora** dané vložky při výrobě mikrofrézováním činila **22%** a prokázala, že mikrofrézování je správným krokem ke snížení výrobních nákladů.

Pro výrobu vložky mikrofrézováním vyplývá i další aspekt, a to, že při každé změně geometrického tvaru vložky se musí zopakovat všechny výrobní kroky, počínaje fyzikálním modelem, přes nástroje a materiál pro elektrody, výrobu vlastních elektrod a konče výrobou nového tvaru.

Neznamená to však, že mikrofrézování 100% nahradí elektroerosivní obrábění, zvláště při výrobě složitých, členitých dílců, jejichž frézování je nákladné a technicky nemožné.

Rozhodující na výsledek frézování, zvláště u mikrofrézování, je optimální komplexní rozvaha řešení z hlediska výrobních nákladů, flexibility výroby včetně konstrukce forem a technologie.

Mikrofrézování v kaleném materiálu představuje inovační výrobní postup, ve kterém je ukryt nesmírný racionalizační potenciál. Z těchto predikcí je možno vyvodit předpoklad, že technologie mikrofrézování je možno v budoucnu ve větší míře úspěšně využít při výrobě lisovacích nástrojů a forem.

## Seznam použité literatury

- [1] SKOPEČEK, Tomáš; VODIČKA, Jaroslav; PAHL, Jörg-Peter; HERKNER, Volkmar. *Základy vysokorychlostního obrábění - HSC*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, ISŠT-COP Most, TU Dresden, 2005. 134 s. ISBN 80–7043–344–2.
- [2] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978–80–8070–711–8.
- [3] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábaní, III. časť – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80–968954–2–7.
- [4] MM Průmyslové spektrum, MM publishing, s.r.o., Přípotoční 1519/10a, 101 00 Praha 10, Vyšlo v MM 2007 / 6, 31. října 2007 v rubrice Trendy / CAD/CAM/CAE, strana 54.
- [5] MM Průmyslové spektrum, MM publishing, s.r.o., Přípotoční 1519/10a, 101 00 Praha 10, Vyšlo v MM 2007 / 7, Říjen 2007 v rubrice Inovace / Nekonenční Technologie, strana 60.
- [6] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábaní, II. časť – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80–968954–2–7.
- [7] MM Průmyslové spektrum, MM publishing, s.r.o., Přípotoční 1519/10a, 101 00 Praha 10, Vyšlo v MM 2005 / 1, Leden 2005 v rubrice Technologie zpracování pryže / plastů, strana 45.

[8] HETTICH [online]. 2008-2011 [cit. 2011-02-22].

Dostupný z URL: < <http://www.hettich.com/en/company/portrait-and-key-figures/facts-and-figures.html> >.

[9] TOKAI CARBON EUROPE [online]. 2011- [cit. 2011-04-21].

Dostupný z URL: < <http://www.tokaicarboneyurope.com/graphite/hk75.php> >.

[10] NAKAYAMA,K.-ARAI,M.-KANDA,T.: 1988, *Machining Characteristics of Hardened Steels*. Annals of CIRP, Vol. 37, s.89-92.

[11] SYSTÉM 3R [online]. 2008-2011 [cit. 2011-03-12].

Dostupný z URL: < <http://www.system3r.com/3r/en/products--services/products/die-sinking-edm/macrojunior.aspx> >.

[12] HAIMER [online]. 2008-2011 [cit. 2011-03-20].

Dostupný z URL: < <http://www.haimer.de/deutsch/schrumpf.php> >.

[13] UNION TOOL [online]. 2008-2011 [cit. 2011-03-20].

Dostupný z URL: < <http://www.uniontool.com> >.

[14] RödersTEC [online]. 2011- [cit. 2011-03-20].

Dostupný z URL: < <http://www.roeders.de/> >.

[15] Nekonvenční metody obrábění – přednáška 14 – prezentace [online]. 2011- [cit. 2011-04-25].

Dostupný z URL: < [http://homel.vsb.cz/~cep77/tech\\_II/](http://homel.vsb.cz/~cep77/tech_II/) >.

## **Seznam příloh**

Příloha A – Výkres vložky

Příloha B - Řez tepelným upínačem HSK E50

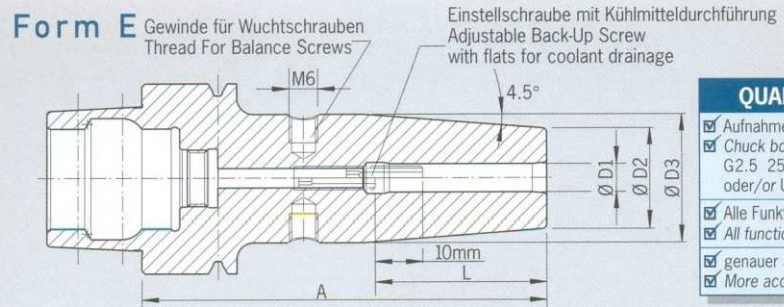
Příloha C – Použité nástroje – technologické parametry



## PŘÍLOHA B [12]

**HAIMER.**

### SCHRUMPFUTTER/SHRINK FIT CHUCK HSK-E / DIN 69893-5



#### QUALITÄTSPASS

- ☒ Aufnahmekörper feingewuchtet  
☒ Chuck body fine balanced  
G2.5 25.000 1/min  
oder/ or U<1gmm
- ☒ Alle Funktionsflächen bearbeitet  
☒ All functional surfaces machined
- ☒ genauer als DIN  
☒ More accurate than DIN

#### Verwendung:

Aufnahme für Induktiv-, Kontakt- und Heißluftschumpfgeräte geeignet

#### DIN 69893-5

- Feinwuchten mit Wuchtschrauben möglich
- Lieferumfang: mit Längeneinstellschraube ohne Kühlmittelrohr
- Hitzebeständiger Warmarbeitsstahl
- Gehärtet 54-2 HRC
- Für HSS- und HM-Werkzeuge
- Schafttoleranz h6
- Kühlung mit Cool Jet gegen Aufpreis (siehe Abschnitt Zubehör)

#### Use:

Suitable for all shrinking units

#### DIN 69893-5

- Fine-balancing by set screws possible
- Included in delivery: Shrink fit chuck with backup screw, without coolant tube
- Heat resistant hot-working steel
- Hardened 54-2 HRC
- For HSS and solid carbide tools
- Shank tolerance h6
- Cooling with Cool Jet against extra charge (see section Accessories)

Standard-Ausführung, ähnlich DIN 69882-8/Standard version, similar to DIN 69882-8

Spann/Clamping Ø	Ø D1 [mm]	03	04	05	06	08	10	12	14	16
	Ø D2 [mm]	10	10	10	21	21	24	24	27	27
	Ø D3 [mm]				27	27	32	32	34	34
	L [mm]	9	12	15	36	36	42	47	47	50



# PŘÍLOHA C [13]

Size  $\phi 2 \sim \phi 12$



HRRS Short Shank

# HRRS-S

Super  
MG

HARD  
MAX

45°

R

$\pm 0.01$

$\pm 0.015$

Shank Dia  
0/-0.005

Shank taper  
0.005/100

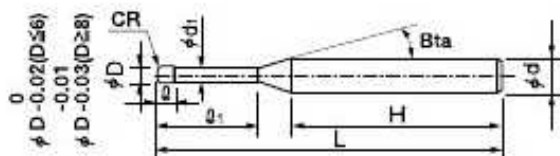
Variable  
point

$\phi 2 \sim \phi 6$   $\phi 8 \sim \phi 12$

Applicable Work Material (◎Most Suitable ○Suitable)

Work Material										Suitable Coolant ◎Recommendation	
CARBON STEELS S45C S55C	ALLOY STEELS SK・SCM SUS	PREHARDENED STEELS NAK HPM	HARDENED STEELS			CAST IRON	ALUMINUM ALLOYS	GRAPHITE	COPPER		PLASTIC
			(~55HRC)	(~60HRC)	(~65HRC)						
		◎	◎	◎	○	○					○Airblow/Oil Mist Water Soluble Oil

Shorter overhang offers higher feed and precision  
Offers to mill with wider Pick Feed  
Seamless Corner Radius  
Suitable to mill up to 65 HRC  
Diameter tolerance : 0/-0.02( $D \leq 6$ ), -0.01/-0.03( $D \geq 8$ )



The Shank taper angle and Shank Length shown are not an exact Value and to avoid contact with the workpiece, we recommend the user control the precise value of this angle.  
Shank taper angle should not make contact with the work piece

(Total 9 models)

Unit (mm)

Model Number	Outside Diameter $\phi D$	Corner Radius CR	Effective Length $\ell_1$	Length of Cut $\ell$	Neck Diameter $\phi d_1$	Shank Taper Angle Bta	Overall Length L	Shank Diameter $\phi d$	Shank Length H
HRRS 4020-05-06S	2	R0.5	6	2	1.91	16°	45	4	33.0
HRRS 4030-08-09S	3	R0.8	9	3	2.92	16°	50	6	32.0
HRRS 4040-10-12S	4	R1	12	4	3.82	—	50	4	35.0
HRRS 4040-10-12-6S	4	R1	12	4	3.82	16°	50	6	31.0
HRRS 4050-12-15S	5	R1.2	15	5	4.82	16°	50	6	30.0
HRRS 4060-15-18S	6	R1.5	18	6	5.82	—	50	6	29.0
HRRS 4080-20-24S	8	R2	24	8	7.92	—	60	8	33.0
HRRS 4100-20-30S	10	R2	30	10	9.92	—	65	10	31.5
HRRS 4120-20-36S	12	R2	36	12	11.92	—	75	12	35.5

◎mark denotes Straight Shank Type

## Milling Conditions for HRRS/HRRS-S

### Roughing Parameter

WORK MATERIAL			PREHARDENED STEELS / HARDENED STEELS (35~45HRC) Airblast/Oil Mist				HARDENED STEELS (45~55HRC) Airblast/Oil Mist				HARDENED STEELS (55~65HRC) Airblast/Oil Mist			
Model Number	Outside Diameter (mm)	Corner Radius (CR)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> (mm)	a <sub>e</sub> (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> (mm)	a <sub>e</sub> (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> (mm)	a <sub>e</sub> (mm)
HRRS 4020-03-06	2	R0.3	30,000	7,650	0.03	0.41	10,000	2,160	0.08	0.36	8,000	1,170	0.04	0.36
HRRS 4020-05-06		R0.5	30,000	7,650	0.05	0.72	10,000	2,160	0.14	0.63	8,000	1,170	0.07	0.63
HRRS 4030-08-09	3	R0.8	25,000	8,100	0.07	1.08	10,000	2,970	0.16	0.95	7,000	1,710	0.09	0.95
HRRS 4040-05-12		R0.5	15,000	8,550	0.06	0.82	9,000	3,600	0.10	0.77	6,000	2,160	0.05	0.77
HRRS 4040-10-12	4	R1	15,000	8,550	0.11	1.44	9,000	3,600	0.16	1.35	6,000	2,160	0.09	1.35
HRRS 4050-12-15		R1.2	10,000	8,550	0.16	1.80	8,000	4,950	0.18	1.58	6,000	2,160	0.14	1.58
HRRS 4060-05-18	6	R0.5	9,000	8,550	0.10	1.23	8,000	5,400	0.11	1.08	6,000	2,070	0.11	1.08
HRRS 4060-10-18		R1	9,000	8,550	0.14	1.57	8,000	5,400	0.14	1.49	6,000	2,070	0.14	1.49
HRRS 4060-15-18		R1.5	9,000	8,550	0.17	2.16	8,000	5,400	0.18	1.89	6,000	2,070	0.18	1.89
HRRS 4060-20-18		R2	9,000	8,550	0.17	2.30	8,000	5,400	0.18	2.02	6,000	2,070	0.18	2.02
HRRS 4080-10-24	8	R1	7,000	8,550	0.05	1.92	6,000	5,850	0.06	1.80	4,000	2,070	0.05	1.80
HRRS 4080-20-24		R2	7,000	8,550	0.21	2.88	6,000	5,850	0.23	2.52	4,000	2,070	0.18	2.52
HRRS 4080-30-24		R3	7,000	8,550	0.21	3.09	6,000	5,850	0.23	2.70	4,000	2,070	0.18	2.70
HRRS 4100-10-30	10	R1	6,000	8,550	0.06	2.57	5,000	5,580	0.07	2.25	3,000	2,160	0.05	2.25
HRRS 4100-20-30		R2	6,000	8,550	0.24	3.60	5,000	5,580	0.27	3.15	3,000	2,160	0.18	3.15
HRRS 4100-30-30		R3	6,000	8,550	0.24	3.86	5,000	5,580	0.27	3.38	3,000	2,160	0.18	3.38
HRRS 4120-10-36	12	R1	5,000	8,550	0.07	3.09	4,000	7,290	0.07	2.70	2,000	2,250	0.05	2.70
HRRS 4120-20-36		R2	5,000	8,550	0.27	4.32	4,000	7,290	0.27	3.78	2,000	2,250	0.18	3.78
HRRS 4120-40-36		R4	5,000	8,550	0.27	4.63	4,000	7,290	0.27	4.05	2,000	2,250	0.18	4.05

### Finishing Parameter (Flat/Inclined surface)

WORK MATERIAL			PREHARDENED STEELS / HARDENED STEELS (35~45HRC) Airblast/Oil Mist				HARDENED STEELS (45~55HRC) Airblast/Oil Mist				HARDENED STEELS (55~65HRC) Airblast/Oil Mist			
Model Number	Outside Diameter (mm)	Corner Radius (CR)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> (mm)	a <sub>e</sub> (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> (mm)	a <sub>e</sub> (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> (mm)	a <sub>e</sub> (mm)
HRRS 4020-03-06	2	R0.3	30,000	850	0.10	0.03	10,000	355	0.10	0.04	8,000	240	0.05	0.03
HRRS 4020-05-06		R0.5	30,000	1,100	0.10	0.04	10,000	460	0.10	0.05	8,000	310	0.05	0.04
HRRS 4030-08-09	3	R0.8	25,000	1,100	0.10	0.04	10,000	650	0.10	0.07	7,000	350	0.05	0.05
HRRS 4040-05-12		R0.5	15,000	775	0.10	0.05	9,000	455	0.10	0.05	6,000	255	0.05	0.04
HRRS 4040-10-12	4	R1	15,000	1,100	0.10	0.07	9,000	650	0.10	0.07	6,000	360	0.05	0.06
HRRS 4050-12-15		R1.2	10,000	1,100	0.10	0.11	8,000	650	0.10	0.08	6,000	360	0.05	0.06
HRRS 4060-05-18	6	R0.5	9,000	690	0.20	0.08	8,000	375	0.20	0.05	6,000	215	0.10	0.04
HRRS 4060-10-18		R1	9,000	975	0.20	0.11	8,000	530	0.20	0.07	6,000	310	0.10	0.05
HRRS 4060-15-18		R1.5	9,000	1,200	0.20	0.13	8,000	650	0.20	0.08	6,000	380	0.10	0.06
HRRS 4060-20-18		R2	9,000	1,385	0.20	0.15	8,000	750	0.20	0.09	6,000	435	0.10	0.07
HRRS 4080-10-24	8	R1	7,000	845	0.05	0.12	6,000	455	0.05	0.08	4,000	265	0.05	0.07
HRRS 4080-20-24		R2	7,000	1,200	0.20	0.17	6,000	650	0.20	0.11	4,000	380	0.10	0.10
HRRS 4080-30-24		R3	7,000	1,465	0.20	0.21	6,000	795	0.20	0.13	4,000	465	0.10	0.12
HRRS 4100-10-30	10	R1	6,000	845	0.05	0.14	5,000	455	0.05	0.09	3,000	265	0.05	0.09
HRRS 4100-20-30		R2	6,000	1,200	0.20	0.20	5,000	650	0.20	0.13	3,000	380	0.10	0.13
HRRS 4100-30-30		R3	6,000	1,470	0.20	0.25	5,000	795	0.20	0.16	3,000	465	0.10	0.16
HRRS 4120-10-36	12	R1	5,000	845	0.05	0.17	4,000	455	0.05	0.11	2,000	265	0.05	0.13
HRRS 4120-20-36		R2	5,000	1,200	0.20	0.24	4,000	650	0.20	0.16	2,000	380	0.10	0.19
HRRS 4120-40-36		R4	5,000	1,695	0.20	0.34	4,000	915	0.20	0.23	2,000	535	0.10	0.27



Size  $\phi 3 \sim \phi 12$



# C-CHRS

Super  
MG

TiAlN

30°

45°

R

$\pm 0.02$

Shank Dia  
0/-0.005

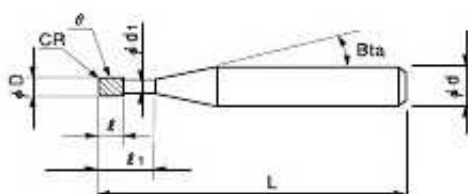
Applicable Work Material (●Most Suitable ○Suitable)

Work Material									
CARBON STEELS	ALLOY STEELS	PREFINISHED STEELS	HARDENED STEELS			CAST IRON	ALUMINIUM ALLOYS	GRAPHITE	COPPER
S45C	SK·SCM	NAK	(~55HRC)	(~50HRC)	(~65HRC)				
S55C	SUS	HPM							
●	○	●	●	○					

Suitable Coolant	○ Recommendation
○ Airflow / OilMist	○ Oil

※ 1 Most suitable to use oil for the stainless steel and the heat resisting alloy steel.

Long neck radius type for high speed and harder steel milling  
30° helix angle for 4 flutes and 45° helix angle for 6 flutes



The shank taper angle shown is not an exact value and to avoid contact with the workpiece, we recommend the user controls the precise value of this angle

(Total 23 models)

Unit (mm)

Model Number	Outside Diameter $\phi D$	Corner Radius CR	Effective Length $L_1$	Length of Cut $L$	Neck Diameter $\phi d_1$	Shank Taper Angle Bta	Overall Length L	Shank Diameter $\phi d$	Number of Flutes	Helix Angle $\theta$	
C-CHRS 4030-01-100	3	RO.1	10	3	2.91	11°	60	6	4	30°	
C-CHRS 4030-02-100		RO.2					60	6			
C-CHRS 4030-05-100		RO.5					60	6			
C-CHRS 4040-01-120	4	RO.1	12	4	3.91	11°	60	6	4	30°	
C-CHRS 4040-02-120		RO.2					60	6			
C-CHRS 4040-05-120		RO.5					60	6			
C-CHRS 4040-10-120		R1					60	6			
C-CHRS 4050-02-160	5	RO.2	16	5	4.91	11°	60	6	4	30°	
C-CHRS 4050-05-160		RO.5					60	6			

### Milling Condition for C-CHRS (4・6 Flutes)

WORK MATERIAL		CARBON STEELS S45C・S50C		ALLOY, P.H STEELS SK・SCM・SUS・NAK		HARDENED STEELS SKD11・SKD61・SKT	
Flutes	Outside Diameter (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)
4	3	14,000	3,520	12,000	1,920	8,200	950
	4	11,000	3,080	9,100	1,450	6,200	800
	5	8,400	2,110	7,000	1,120	4,900	570
6	6	5,500	1,610	4,700	840	4,100	790
	8	4,100	1,200	3,500	630	3,100	600
	10	3,100	840	2,700	480	2,200	380
	12	2,500	680	2,200	390	1,800	310
(mm) Milling Amount		$a_p < 1D$ $a_e \leq 0.05D$		4 6	$a_p < 1D, a_e \leq 0.05D$ $a_p < 1D, a_e \leq 0.02D$	$a_p < 1D$ $a_e \leq 0.05D$ (max 0.5mm)	

For high-speed finishing

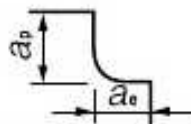
WORK MATERIAL		CARBON STEELS S45C・S50C		PREHARDENED STEELS NAK etc.		HARDENED STEELS SKD11・SKD61・SKT	
Flutes	Outside Diameter (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)
4	3	21,000	7,560	18,000	3,600	12,000	2,160
	4	15,000	6,000	13,000	2,600	9,500	1,900
	5	12,000	4,320	10,000	2,000	7,600	1,360
6	6	7,900	3,310	7,000	2,310	6,300	1,890
	8	5,900	2,470	5,000	1,650	4,700	1,410
	10	4,400	1,710	3,800	1,250	3,500	940
	12	3,700	1,440	3,200	1,050	2,900	780
(mm) Milling Amount		$a_p < 1D$ $a_e \leq 0.04D$					

Side Milling

D : (mm) Outside Diameter

$a_p$  : (mm) Axial Depth

$a_e$  : (mm) Radial Depth



Note :

Recommend slope approach.

Recommend Airflow or Oil Mist

Most suitable to use oil for the steel and the heat resisting alloy steel

Do not use flammable cutting oils

Remove chip to prevent heat generation and ignition

Size **R1 ~ R6**



# HFB-S

**Super  
MG**

**HARD  
MAX**

**40°**

**R**  
±0.005

**R**  
±0.007

**R**  
±0.01

**Shank Dia  
D/-0.005**

**R1~R1.5**

**R2~R3**

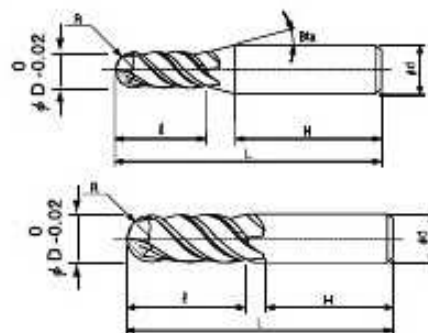
**R4~R6**

Active Ball Short Shank

Applicable Work Material (◎Most Suitable ○Suitable)

Work Material											Suitable Coolant ◎ Recommendation
CARBON STEELS S45C S55C	ALLOY STEELS SK·SCM SUS	PREHARDENED STEELS NAK HPM	HARDENED STEELS			CAST IRON	ALUMINIUM ALLOYS	GRAPHITE	COPPER	PLASTIC	
			(~55HRC)	(~60HRC)	(~65HRC)						
			◎	◎	◎						◎ Oil Mist Airblow / Water Soluble - Oil

It fits for shrink chuck system  
Shorter overhang offers higher feed and precision  
Reducing on cutting  
Offers to processing efficiency with shrink chuck system  
Diameter Tolerance +0/-0.02 mm



The shank taper angle and Shank Length shown are not an exact value and to avoid contact with the workpiece, we recommend the user controls the precise value of this angle  
Shank taper angle should not make contact with the work piece

(Total 7 models)

Unit (mm)

Model Number	Radius of Ball Nose R	Length of Cut l	Shank Taper Angle Bta	Overall Length L	Shank Diameter φ d	Shank Length H	
<b>HFB 4020-0300S</b>	R1	3	16°	40	4	31.0	
<b>HFB 4030-0450S</b>	R1.5	4.5	16°	40	4	30.5	
<b>HFB 4040-0600S</b>	R2	6	16°	45	6	32.5	
<b>HFB 4060-0900S</b>	R3	9	—	50	6	34.5	
<b>HFB 4080-1200S</b>	R4	12	—	60	8	40.5	
<b>HFB 4100-1500S</b>	R5	15	—	60	10	35.5	
<b>HFB 4120-1800S</b>	R6	18	—	60	12	31.5	



## Milling Conditions for HFB/HFB-S

WORK MATERIAL		(NAK80) PREHARDENED STEELS (35~45HRC) Water Soluble/Airblow/Oil Mist				(STAVAX · SKD61) HARDENED STEEL (45~55HRC) Airblow/Oil Mist			
Model Number	Radius of Ball Nose (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>e</sub> Radial Depth (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>e</sub> Radial Depth (mm)
HFB 4020-0300	R1	20,000	1,500	0.5	0.8	16,000	1,500	0.6	0.9
HFB 4030-0450	R1.5	16,000	2,000	0.6	0.9	10,500	1,500	0.9	1.35
HFB 4040-0600	R2	15,000	3,000	0.4	0.8	9,000	3,000	0.7	1.4
HFB 4060-0900	R3	9,000	2,500	0.5	1	8,000	3,500	0.6	1.8
HFB 4080-1200	R4					6,200	3,000	0.75	2.1
HFB 4100-1500	R5					4,500	2,700	0.85	2.5
HFB 4120-1800	R6					3,750	2,700	0.95	3

WORK MATERIAL		(YXR33 · SKD11) HARDENED STEEL (55~60HRC) Airblow/Oil Mist				(HAP10 · SKD11 · YXR7) HARDENED STEEL (60~65HRC) Airblow/Oil Mist			
Model Number	Radius of Ball Nose (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>e</sub> Radial Depth (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>e</sub> Radial Depth (mm)
HFB 4020-0300	R1	10,000	1,500	0.4	0.8	8,500	1,200	0.3	0.7
HFB 4030-0450	R1.5	6,500	1,500	0.6	1.2	5,500	1,200	0.5	1.1
HFB 4040-0600	R2	5,500	1,750	0.6	1.2	6,200	2,000	0.45	1
HFB 4060-0900	R3	4,500	1,750	0.6	1.5	5,000	2,000	0.45	1.2
HFB 4080-1200	R4	3,750	1,500	0.7	1.75	4,500	1,800	0.5	1.4
HFB 4100-1500	R5	3,000	1,500	0.75	2	3,600	1,800	0.6	1.6
HFB 4120-1800	R6	2,500	1,500	0.9	2.4	3,000	1,800	0.7	1.8

WORK MATERIAL		(HAP72) HARDENED STEEL (65~70HRC) Airblow/Oil Mist			
Model Number	Radius of Ball Nose (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>e</sub> Radial Depth (mm)
HFB 4020-0300	R1	10,500	750	0.2	0.6
HFB 4030-0450	R1.5	7,000	750	0.25	0.8
HFB 4040-0600	R2	7,500	1,200	0.2	0.6
HFB 4060-0900	R3	5,000	1,500	0.3	0.9
HFB 4080-1200	R4	4,000	1,500	0.3	1
HFB 4100-1500	R5	3,000	1,500	0.3	1.2
HFB 4120-1800	R6	2,500	1,300	0.3	1.4

# 2Flutes HARDMAX Series

Size R0.05~R3

# HLB

Super  
MG

HARD  
MAX

0°

30°

R

R

Shank Dia  
0.1-0.095

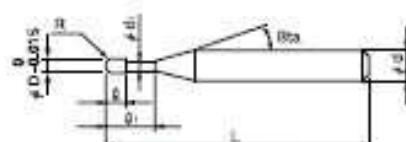
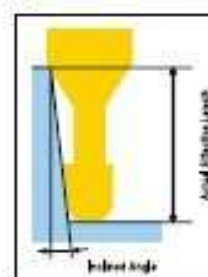
Additional 4 models

Applicable Work Material (○Most Suitable ○Suitable)

Work Material													Suitable Coolant ○ Recommendation
CARBON STEELS S45C S55C	ALLOY STEELS SK-SCM SUS	PREHARDENED STEELS NAK HPM	HARDENED STEELS			CAST IRON	ALUMINUM ALLOYS	GRAPHITE	COPPER	PLASTIC	TITANIUM	HEATPROOF STEELS	
			(~55HRC)	(~60HRC)	(~65HRC)								
○	○	○	○	○	○	○				○			○
													○ Water Soluble Oil

○1 Most suitable to use for the alloy steel and the heat treating alloy steel  
○2 Recommended Oil or Water Soluble coolant for Copper milling

For outstanding heat resistance and lubricating properties for hard milling of materials up to 65 HRC  
Offers market leading tool life performance  
Refer to page 228 for the short shank version  
High R tolerance:  $\pm 0.005$  mm, Diameter tolerance:  $0/-0.015$  mm



The shank taper angle shown is not an exact value and to avoid contact with the workpiece, we recommend the user controls the precise value of this angle.  
Shank taper angle should not make contact with the work piece.

Outside Diameter	High R tolerance	Diameter tolerance
φ0.1 (2 Flutes) ~φ0.15	0/-0.01	±0.002
φ0.1 (1 Flute) φ0.2~φ6	0/-0.015	±0.005

☒ (Total 280 models)

Unit (mm)

Model Number	Radius of Ball Nose R	Effective Length L <sub>e</sub>	Length of Cut L	Neck Diameter φd <sub>1</sub>	Shank Taper Angle B <sub>ts</sub>	Overall Length L	Shank Diameter φd	Effective Length by Inclined angles				
								30°	1°	1° 30'	2°	3°
HLB 1001-002	R0.05	—	0.2	—	11°	45	4	—	—	—	—	—
HLB 2001-003	R0.05	0.3	0.08	0.095		45	4	0.35	0.39	0.41	0.44	0.48
HLB 2001-005		0.5				45	4	0.57	0.61	0.65	0.68	0.76
HLB 2001S-003	R0.075	0.3	0.12	0.135		45	4	0.40	0.42	0.44	0.46	0.51
HLB 2001S-005		0.5				45	4	0.61	0.64	0.67	0.71	0.78
HLB 2002-003		0.3			16°	45	4	0.62	0.70	0.79	0.87	1.04
HLB 2002-005						45	4	0.85	0.95	1.05	1.15	1.34
HLB 2002-005-6		0.5				50	6	0.85	0.95	1.05	1.15	1.34
HLB 2002-0075		0.75				45	4	1.13	1.26	1.37	1.48	1.69
HLB 2002-010		1				45	4	1.41	1.56	1.68	1.80	2.03
HLB 2002-010-6						50	6	1.41	1.56	1.68	1.80	2.03
HLB 2002-0125	R0.1	1.25	0.16	0.17		45	4	1.66	1.83	1.97	2.10	2.34
HLB 2002-015		1.5				45	4	1.94	2.12	2.28	2.42	2.67
HLB 2002-015-6						50	6	1.94	2.12	2.28	2.42	2.67
HLB 2002-0175		1.75				45	4	2.21	2.41	2.57	2.72	2.98
HLB 2002-020		2				45	4	2.49	2.69	2.86	3.02	3.29
HLB 2002-020-6						50	6	2.49	2.69	2.86	3.02	3.29
HLB 2002-025		2.5				45	4	3.03	3.26	3.45	3.61	3.91
HLB 2002-030		3				45	4	3.58	3.82	4.02	4.20	4.52

Unit (mm)

Model Number	Radius of Ball Nose R	Effective Length L <sub>1</sub>	Length of Cut L	Neck Diameter φ d <sub>1</sub>	Shank Type Angle B/a	Overall Length L	Shank Diameter φ d		Effective Length by Inclined angle				
									30°	1°	1° 30'	2°	3°
HLB 2008-020	R0,4	2	0,64	0,77	16°	45	4		2,46	2,65	2,81	2,96	3,22
HLB 2008-020-6						50	6		2,46	2,65	2,81	2,96	3,22
HLB 2008-030		3				45	4		3,55	3,78	3,98	4,15	4,45
HLB 2008-030-6						50	6		3,55	3,78	3,98	4,15	4,45
HLB 2008-040		4				45	4		4,63	4,90	5,12	5,31	5,68
HLB 2008-040-6						50	6		4,63	4,90	5,12	5,31	5,68
HLB 2008-050		5				45	4		5,70	6,00	6,24	6,45	6,90
HLB 2008-050-6						50	6		5,70	6,00	6,24	6,45	6,90
HLB 2008-060		6				45	4		6,78	7,09	7,34	7,59	8,13
HLB 2008-060-6						50	6		6,78	7,09	7,34	7,59	8,13
HLB 2008-070		7				45	4		7,82	8,17	8,45	8,73	9,35
HLB 2008-080		8				45	4		8,87	9,24	9,55	9,86	10,57
HLB 2008-080-6						50	6		8,87	9,24	9,55	9,86	10,57
HLB 2008-090		9				45	4		9,92	10,31	10,65	11,00	11,80
HLB 2008-100		10				50	4		10,97	11,38	11,75	12,14	13,02
HLB 2008-100-6						50	6		10,97	11,38	11,75	12,14	13,02
HLB 2010-020	R0,5	2	0,8	0,96	16°	45	4		2,47	2,65	2,81	2,95	3,20
HLB 2010-025		2,5				45	4		3,02	3,22	3,40	3,55	3,83
HLB 2010-030		3				45	4		3,56	3,79	3,97	4,14	4,44
HLB 2010-030-6						50	6		3,56	3,79	3,97	4,14	4,44
HLB 2010-040		4				45	4		4,64	4,90	5,11	5,30	5,67
HLB 2010-040-6						50	6		4,64	4,90	5,11	5,30	5,67
HLB 2010-050		5				45	4		5,71	6,00	6,23	6,44	6,89
HLB 2010-050-6						50	6		5,71	6,00	6,23	6,44	6,89
HLB 2010-060		6				45	4		6,77	7,09	7,34	7,58	8,11
HLB 2010-060-6						50	6		6,77	7,09	7,34	7,58	8,11
HLB 2010-070		7				45	4		7,83	8,17	8,44	8,72	9,34
HLB 2010-070-6						50	6		7,83	8,17	8,44	8,72	9,34
HLB 2010-080		8				45	4		8,88	9,24	9,54	9,86	10,56
HLB 2010-080-6						50	6		8,88	9,24	9,54	9,86	10,56
HLB 2010-090		9				45	4		9,93	10,31	10,64	11,00	11,78
HLB 2010-100		10				45	4		10,97	11,38	11,75	12,14	13,01
HLB 2010-100-6						50	6		10,97	11,38	11,75	12,14	13,01
HLB 2010-120		12				45	4		13,06	13,51	13,95	14,41	15,45
HLB 2010-120-6						50	6		13,06	13,51	13,95	14,41	15,45
HLB 2010-140		14				50	4		15,14	15,64	16,15	16,69	17,90
HLB 2010-140-6						60	6		15,14	15,64	16,15	16,69	17,90
HLB 2010-160		16				50	4		17,22	17,77	18,35	18,97	20,35
HLB 2010-160-6						60	6		17,22	17,77	18,35	18,97	20,35
HLB 2010-180		18				55	4		19,29	19,90	20,55	21,25	22,80
HLB 2010-200		20				55	4		21,35	22,03	22,75	23,52	25,24
HLB 2010-200-6						70	6		21,35	22,03	22,75	23,52	25,24
HLB 2010-220-6		22				70	6		23,41	24,16	24,95	25,80	27,69



Unit (mm)

Model Number	Radius of Ball Nose R	Effective Length $\ell_1$	Length of Cut $\ell$	Neck Diameter $\phi d_1$	Shank Taper Angle $\theta$ Sta	Overall Length L	Shank Diameter $\phi d$	Effective Length by Inclined angles				
								30°	1°	1° 30'	2°	3°
HLB 2020-030	R1	3	1.6	1.94	16°	45	4	3.04	3.11	3.18	3.26	3.44
HLB 2020-040		4				45	4	4.07	4.17	4.28	4.40	4.67
HLB 2020-040-6						50	6	4.07	4.17	4.28	4.40	4.67
HLB 2020-060		6				45	4	6.13	6.30	6.48	6.68	7.11
HLB 2020-060-6						50	6	6.13	6.30	6.48	6.68	7.11
HLB 2020-080		8				45	4	8.20	8.43	8.68	8.96	9.56
HLB 2020-080-6						50	6	8.20	8.43	8.68	8.96	9.56
HLB 2020-100		10				45	4	10.26	10.56	10.89	11.23	12.01
HLB 2020-100-6						50	6	10.26	10.56	10.89	11.23	12.01
HLB 2020-120		12				45	4	12.32	12.69	13.09	13.51	14.45
HLB 2020-120-6						50	6	12.32	12.69	13.09	13.51	14.45
HLB 2020-140		14				50	4	14.38	14.82	15.29	15.79	16.90
HLB 2020-160		16				50	4	16.45	16.95	17.49	18.06	19.35
HLB 2020-160-6						60	6	16.45	16.95	17.49	18.06	19.35
HLB 2020-180		18				55	4	18.51	19.08	19.69	20.34	No interference
HLB 2020-200		20				55	4	20.57	21.21	21.89	22.62	No interference
HLB 2020-200-6						70	6	20.57	21.21	21.89	22.62	24.24
HLB 2020-220		22				60	4	22.64	23.34	24.09	24.90	No interference
HLB 2020-250		25				65	4	25.73	26.53	27.39	28.31	No interference
HLB 2020-250-6						80	6	25.73	26.53	27.39	28.31	30.36
HLB 2020-300		30				70	4	30.89	31.86	32.90	No interference	No interference
HLB 2020-300-6						80	6	30.89	31.86	32.90	34.01	36.48
HLB 2020-350		35				80	4	36.04	37.18	38.40	No interference	No interference
HLB 2020-350-6						80	6	36.04	37.18	38.40	39.70	No interference
HLB 2020-400		40				80	4	41.20	42.51	No interference	No interference	No interference
HLB 2020-400-6						90	6	41.20	42.51	43.90	45.39	No interference
HLB 2025-080	R1.25	8	2	2.41	16°	45	4	8.24	8.47	8.72	8.96	9.57
HLB 2025-100		10				45	4	10.30	10.60	10.92	11.26	12.02
HLB 2025-150		15				50	4	15.46	15.93	16.42	16.95	No interference
HLB 2025-200		20				55	4	20.62	21.26	21.92	22.65	No interference
HLB 2025-250		25				65	4	25.78	26.57	27.43	No interference	No interference
HLB 2025-300		30				70	4	30.93	31.90	No interference	No interference	No interference
HLB 2030-060-3	R1.5	6	2.4	2.91	16°	60	3	No interference	No interference	No interference	No interference	No interference
HLB 2030-060-4						60	4	6.17	6.32	6.49	6.66	7.06
HLB 2030-060						60	6	6.17	6.32	6.49	6.66	7.06
HLB 2030-080		8				60	6	8.23	8.45	8.69	8.94	9.51
HLB 2030-100		10				60	6	10.29	10.58	10.89	11.22	11.96
HLB 2030-120		12				60	6	12.35	12.71	13.09	13.50	14.41
HLB 2030-140		14				60	6	14.42	14.84	15.29	15.77	16.85
HLB 2030-150		15				60	6	15.45	15.90	16.39	16.91	18.08
HLB 2030-160		16				60	6	16.48	16.97	17.49	18.05	19.30
HLB 2030-200		20				70	6	20.60	21.23	21.89	22.61	24.19
HLB 2030-250		25				70	6	25.76	26.55	27.39	28.30	30.31
HLB 2030-300		30				70	6	30.92	31.88	32.90	33.99	No interference
HLB 2030-350		35				80	6	36.08	37.20	38.40	39.69	No interference
HLB 2030-400		40				80	6	41.23	42.52	43.90	No interference	No interference



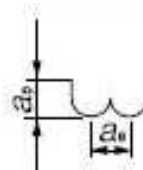
# Milling Conditions for HLB/HLB-S

WORK MATERIAL			COPPER				PREHARDENED STEELS / HARDENED STEELS NAK/SKD (30~45HRC)				HARDENED STEELS SKD/SKT (45~55HRC)				HARDENED STEELS SKD/SKT (55~65HRC)			
Model Number	Radius of Ball Nose (mm)	Effective Length (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>e</sub> Radial Depth (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>e</sub> Radial Depth (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>e</sub> Radial Depth (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>e</sub> Radial Depth (mm)
2010	R0.5	2	46,000	2,000	0.072	0.360	32,000	770	0.057	0.240	22,000	480	0.045	0.240	18,700	480	0.009	0.180
		2.5	46,000	2,000	0.072	0.360	32,000	770	0.057	0.240	22,000	480	0.045	0.240	18,700	480	0.009	0.180
		3	46,000	2,000	0.072	0.360	32,000	770	0.057	0.240	22,000	480	0.045	0.240	18,700	480	0.009	0.180
		4	46,000	2,000	0.071	0.360	32,000	770	0.057	0.240	22,000	480	0.045	0.240	18,700	480	0.009	0.180
		5	46,000	2,000	0.071	0.360	32,000	770	0.057	0.240	22,000	480	0.045	0.240	18,700	480	0.009	0.180
		6	39,000	1,500	0.071	0.180	26,000	760	0.055	0.120	17,600	480	0.045	0.120	17,600	480	0.009	0.120
		7	39,000	1,500	0.043	0.180	26,000	760	0.034	0.120	17,600	480	0.027	0.120	17,600	360	0.009	0.120
		8	39,000	1,500	0.043	0.180	26,000	760	0.034	0.120	17,600	480	0.027	0.120	17,600	360	0.009	0.120
		9	29,000	1,110	0.028	0.180	18,900	530	0.024	0.120	17,600	420	0.018	0.120	17,600	300	0.009	0.060
		10	29,000	1,110	0.028	0.090	17,600	530	0.024	0.060	16,500	420	0.018	0.060	15,400	300	0.009	0.060
		12	18,700	660	0.027	0.090	17,600	530	0.024	0.060	16,500	420	0.018	0.060	15,400	300	0.009	0.060
		14	18,700	640	0.022	0.090	15,400	440	0.018	0.060	14,300	360	0.014	0.060	12,100	240	0.005	0.036
		16	18,700	640	0.022	0.090	15,400	440	0.018	0.060	14,300	360	0.014	0.060	12,100	240	0.005	0.036
		18	18,700	540	0.017	0.090	14,300	440	0.013	0.060	13,200	360	0.009	0.060	9,900	240	0.005	0.024
		20	18,700	540	0.017	0.054	14,300	360	0.013	0.036	13,200	300	0.009	0.036	9,900	180	0.005	0.024
2020	R1	3	22,000	2,140	0.232	0.540	18,500	1,260	0.185	0.360	13,200	960	0.150	0.360	13,200	780	0.125	0.360
		4	22,000	2,140	0.232	0.540	18,500	1,260	0.185	0.360	13,200	960	0.150	0.360	13,200	780	0.125	0.360
		6	22,000	2,140	0.232	0.540	18,500	1,260	0.185	0.360	13,200	960	0.150	0.360	13,200	780	0.125	0.360
		8	22,000	1,920	0.185	0.360	18,500	1,120	0.147	0.240	13,200	870	0.120	0.240	13,200	710	0.099	0.240
		10	22,000	1,920	0.185	0.360	18,500	1,120	0.147	0.240	13,200	870	0.120	0.240	13,200	710	0.099	0.240
		12	18,700	1,470	0.166	0.360	16,000	990	0.133	0.240	11,700	780	0.107	0.240	11,700	630	0.089	0.240
		14	18,700	1,470	0.166	0.360	16,000	990	0.133	0.240	11,700	780	0.107	0.240	11,700	630	0.089	0.240
		16	18,700	1,470	0.148	0.360	16,000	990	0.118	0.240	11,700	780	0.090	0.240	11,700	630	0.079	0.240
		18	14,300	1,070	0.093	0.180	14,700	580	0.074	0.120	11,600	580	0.061	0.120	11,600	480	0.049	0.120
		20	14,300	1,070	0.093	0.180	14,700	580	0.074	0.120	11,600	580	0.061	0.120	11,600	480	0.049	0.120
		22	9,500	830	0.074	0.180	10,600	450	0.058	0.120	10,200	450	0.045	0.120	10,200	360	0.040	0.120
		25	9,500	830	0.074	0.180	10,600	450	0.058	0.120	10,200	450	0.045	0.120	10,200	360	0.040	0.120
		30	9,500	630	0.033	0.090	10,600	450	0.026	0.060	10,200	450	0.021	0.060	10,200	360	0.017	0.060
		35	9,500	530	0.026	0.090	10,600	380	0.019	0.060	10,200	380	0.017	0.060	10,200	300	0.014	0.060

WORK MATERIAL			COPPER				PREHARDENED STEELS / HARDENED STEELS NAK/SKD (30~45HRC)				HARDENED STEELS SKD/SKT (45~55HRC)				HARDENED STEELS SKD/SKT (55~65HRC)			
Model Number	Radius of Ball Nose (mm)	Effective Length (mm)	Speed (m/min)	Feed (mm/min)	$a_p$ Axial Depth (mm)	$a_e$ Radial Depth (mm)	Speed (m/min)	Feed (mm/min)	$a_p$ Axial Depth (mm)	$a_e$ Radial Depth (mm)	Speed (m/min)	Feed (mm/min)	$a_p$ Axial Depth (mm)	$a_e$ Radial Depth (mm)	Speed (m/min)	Feed (mm/min)	$a_p$ Axial Depth (mm)	$a_e$ Radial Depth (mm)
2025	R1.25	8	18,400	2,400	0.232	0.360	14,500	1,400	0.185	0.240	9,700	1,080	0.150	0.240	9,700	880	0.125	0.240
		10	18,400	2,400	0.232	0.360	14,500	1,400	0.185	0.240	9,700	1,080	0.150	0.240	9,700	880	0.125	0.240
		15	16,100	1,810	0.208	0.360	13,500	1,230	0.166	0.240	8,400	980	0.135	0.240	8,400	780	0.112	0.240
		20	11,500	1,330	0.116	0.180	10,200	950	0.093	0.120	8,400	980	0.074	0.120	8,400	780	0.063	0.120
		25	6,900	770	0.098	0.180	8,400	540	0.074	0.120	8,400	560	0.061	0.120	8,400	450	0.048	0.120
		30	6,900	770	0.040	0.090	8,400	540	0.033	0.060	8,400	560	0.026	0.060	8,400	450	0.021	0.060
2030	R1.5	6	15,000	2,890	0.278	0.540	12,900	1,680	0.222	0.360	9,200	1,300	0.180	0.360	6,400	710	0.180	0.360
		8	15,000	2,890	0.278	0.540	12,900	1,680	0.222	0.360	9,200	1,300	0.180	0.360	6,400	710	0.180	0.360
		10	15,000	2,600	0.278	0.540	12,900	1,680	0.222	0.360	9,200	1,300	0.180	0.360	6,400	710	0.180	0.360
		12	15,000	2,600	0.278	0.540	12,900	1,510	0.222	0.360	9,200	1,170	0.180	0.360	6,400	650	0.180	0.360
		14	15,000	2,600	0.209	0.540	12,900	1,510	0.166	0.360	9,200	1,170	0.135	0.360	6,400	650	0.090	0.360
		15	12,700	1,970	0.209	0.540	11,300	1,330	0.166	0.360	8,100	1,040	0.135	0.360	5,800	590	0.090	0.360
		16	12,700	1,970	0.209	0.540	11,300	1,330	0.166	0.360	8,100	1,040	0.135	0.360	5,800	590	0.090	0.360
		20	12,700	1,970	0.209	0.540	11,300	1,330	0.166	0.360	8,100	1,040	0.135	0.360	5,800	590	0.090	0.360
		25	10,100	1,450	0.139	0.270	8,800	1,040	0.111	0.180	8,100	1,040	0.090	0.180	5,800	590	0.090	0.360
		30	10,100	1,450	0.139	0.270	8,800	780	0.111	0.180	8,100	780	0.090	0.180	5,800	420	0.090	0.360
		35	6,600	840	0.073	0.270	7,900	620	0.055	0.180	7,500	650	0.045	0.180	5,200	360	0.045	0.180
		40	6,600	840	0.073	0.270	7,900	500	0.055	0.180	7,500	520	0.045	0.180	5,200	260	0.045	0.180

★HLB Short Shank Series  
2050-120、2060-150

$a_p$  : Axial Depth  
 $a_e$  : Radial Depth  
D : Outside Diameter  
n : Speed  
Vf : Feed



#### Note

- Recommend Airflow or Oil Mist. When milling copper, recommend Water soluble or Oil coolant.
- This parameter is only for reference. In operation, we recommend fine adjustments to these parameters according to the milling shape, purpose, machine capability and the operation environment.
- When the parameter exceed the machine's maximum spindle speed, decrease both the spindle speed and the feed rate by the same proportion.



Size  $\phi 0.2 \sim \phi 6$



# HLRS



Applicable Work Material (◎Most Suitable ○Suitable)

Work Material												Suitable Coolant ◎ Recommendation	
CARBON STEELS S45C S55C	ALLOY STEELS SK·SCM SUS	PREHARDENED STEELS NAK HPM	HARDENED STEELS			CAST IRON	ALUMINIUM ALLOYS	GRAPHITE	COPPER	PLASTIC	TITANIUM		HEATPROOF STEELS
			(~55HRC)	(~60HRC)	(~65HRC)								
○	○	◎	◎	◎	○	○			◎ ※3			○ ※1	

※1 Most suitable to use oil for the stainless steel and the heat resisting alloy steel  
 ※3 Recommend Oil or Water Soluble coolant for Copper milling

Unit (mm)

Model Number	EXCELLENT	Outside Diameter $\phi D$	Corner Radius CR	Effective Length $L_1$	Effective Length by Inclined angles				
					30°	1°	1°30'	2°	3°
HLRS 2010-01-060		1	R0.1	6	6.78	7.10	7.36	7.60	8.17
HLRS 2010-01-060E	○				6.78	7.10	7.36	7.60	8.17
HLRS 2010-01-080				8	8.88	9.24	9.56	9.88	10.61
HLRS 2010-01-100					10.97	11.37	11.76	12.16	13.06
HLRS 2010-01-120				12	13.05	13.50	13.96	14.44	15.51
HLRS 2010-01-160					17.20	17.76	18.36	18.99	20.40
HLRS 2010-01-200				20	21.33	22.02	22.76	23.54	25.30
HLRS 2010-02-020			R0.2	2	2.51	2.69	2.86	2.98	3.23
HLRS 2010-02-020E	○				2.51	2.69	2.86	2.98	3.23
HLRS 2010-02-030				3	3.58	3.80	3.99	4.16	4.47
HLRS 2010-02-040					4.65	4.91	5.12	5.30	5.68
HLRS 2010-02-040E	○				4.65	4.91	5.12	5.30	5.68
HLRS 2010-02-050				5	5.71	6.00	6.23	6.45	6.92
HLRS 2010-02-060					6.76	7.08	7.34	7.57	8.13
HLRS 2010-02-060E	○				6.76	7.08	7.34	7.57	8.13
HLRS 2010-02-080				8	8.86	9.22	9.54	9.85	10.57
HLRS 2010-02-100					10.95	11.35	11.74	12.13	13.02
HLRS 2010-02-120				12	13.03	13.48	13.94	14.41	15.47
HLRS 2010-02-160					17.18	17.74	18.34	18.96	20.36
HLRS 2010-02-200				20	21.31	22.00	22.74	23.51	25.26
HLRS 2010-03-020			R0.3	2	2.49	2.67	2.84	2.95	3.19
HLRS 2010-03-020E	○				2.49	2.67	2.84	2.95	3.19
HLRS 2010-03-030				3	3.57	3.79	3.98	4.14	4.45
HLRS 2010-03-040					4.63	4.89	5.10	5.27	5.64
HLRS 2010-03-040E	○				4.63	4.89	5.10	5.27	5.64
HLRS 2010-03-050				5	5.70	5.99	6.22	6.43	6.90
HLRS 2010-03-060					6.74	7.06	7.32	7.54	8.09
HLRS 2010-03-060E	○				6.74	7.06	7.32	7.54	8.09
HLRS 2010-03-080				8	8.84	9.20	9.52	9.82	10.53
HLRS 2010-03-100					10.93	11.33	11.72	12.1	12.98
HLRS 2010-03-120				12	13.01	13.46	13.92	14.38	15.43
HLRS 2010-03-160					17.16	17.72	18.32	18.93	20.32
HLRS 2010-03-200				20	21.29	21.98	22.72	23.48	25.22
HLRS 2012-02-060				6	6.18	6.38	6.59	6.82	7.33



# Milling conditions for HLRS

WORK MATERIAL				COPPER				PREHARDENED STEELS/HARDENED STEELS NAK/SKD (30~45HRC)				HARDENED STEELS SKD/SKT (45~55HRC)				HARDENED STEELS SKD/SKH (55~65HRC)			
Model Number	Outside Diameter (mm)	Effective Length (mm)	L/D	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>r</sub> Radial Depth (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>r</sub> Radial Depth (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>r</sub> Radial Depth (mm)	Speed (min <sup>-1</sup> )	Feed (mm/min)	a <sub>p</sub> Axial Depth (mm)	a <sub>r</sub> Radial Depth (mm)
2002	0.2	0.5	2.5	55,000	230	0.027	0.020	55,000	230	0.006	0.020	44,800	236	0.005	0.020	19,000	30	0.002	0.015
		1	5	55,000	200	0.027	0.020	55,000	200	0.006	0.020	35,000	150	0.004	0.020	15,000	25	0.0015	0.015
		1.5	7.5	55,000	180	0.017	0.010	55,000	180	0.005	0.010	27,000	100	0.003	0.010	12,000	20	0.001	0.007
		2	10	55,000	170	0.007	0.005	55,000	170	0.003	0.005	20,000	60	0.002	0.005	10,500	15	0.001	0.003
2003	0.3	1	3.3	60,000	500	0.030	0.020	60,000	500	0.007	0.020	35,000	350	0.005	0.020	22,000	35	0.004	0.015
		1.5	5	60,000	470	0.030	0.020	60,000	470	0.007	0.020	35,000	310	0.005	0.018	22,000	33	0.004	0.015
		2	6.7	60,000	400	0.030	0.020	60,000	400	0.007	0.020	33,200	250	0.005	0.015	20,000	32	0.004	0.015
		2.5	8.3	57,000	330	0.030	0.017	57,000	330	0.007	0.017	30,000	180	0.003	0.012	18,000	30	0.002	0.012
		3	10	52,000	220	0.030	0.015	52,000	220	0.006	0.015	25,000	80	0.003	0.010	15,000	20	0.002	0.010
2004	0.4	1	2.5	50,900	610	0.048	0.063	50,900	510	0.013	0.072	40,700	370	0.011	0.072	24,200	40	0.004	0.072
		1.5	3.75	45,200	580	0.045	0.063	45,200	480	0.012	0.054	36,200	360	0.010	0.054	21,500	38	0.004	0.054
		2	5	40,400	540	0.042	0.054	40,400	450	0.011	0.045	32,300	330	0.009	0.045	19,200	35	0.004	0.045
		3	7.5	33,900	460	0.027	0.054	33,900	390	0.008	0.027	27,100	280	0.007	0.027	16,100	30	0.003	0.027
		4	10	30,000	220	0.010	0.045	30,000	340	0.006	0.014	24,000	250	0.005	0.014	14,300	27	0.002	0.014
2005	0.5	1	2	49,200	1,370	0.081	0.117	49,200	1,140	0.034	0.122	40,000	860	0.030	0.122	24,800	94	0.013	0.122
		2	4	39,900	1,000	0.075	0.108	39,900	830	0.029	0.117	32,500	630	0.026	0.117	20,100	68	0.011	0.117
		3	6	31,900	770	0.057	0.090	31,900	640	0.023	0.113	26,000	480	0.020	0.113	16,100	52	0.008	0.113
		4	8	29,100	660	0.039	0.072	29,100	550	0.016	0.108	23,700	410	0.014	0.108	14,600	45	0.006	0.108
		5	10	26,400	570	0.027	0.045	26,400	470	0.011	0.099	21,500	360	0.010	0.099	13,300	39	0.004	0.099
		6	12	24,200	480	0.021	0.018	24,200	400	0.007	0.090	19,700	300	0.006	0.090	12,200	33	0.003	0.090
2006	0.6	2	3.3	28,600	610	0.114	0.162	28,600	510	0.010	0.219	23,700	390	0.010	0.219	15,200	43	0.004	0.219
		3	5	23,800	480	0.090	0.135	23,800	400	0.008	0.108	19,700	300	0.007	0.108	12,600	33	0.003	0.108
		4	6.7	20,400	400	0.063	0.108	20,400	330	0.005	0.104	16,800	250	0.005	0.104	10,800	28	0.002	0.1035
		6	10	16,800	300	0.036	0.045	16,800	250	0.003	0.099	13,900	190	0.003	0.099	8,900	21	0.001	0.099
		8	13.3	14,600	240	0.021	0.027	14,600	200	0.002	0.072	12,100	150	0.002	0.072	7,700	16	0.001	0.072
2007	0.7	4	5.7	18,400	480	0.087	0.162	18,400	400	0.008	0.117	15,500	310	0.008	0.117	10,200	35	0.004	0.117
		6	8.6	15,400	360	0.051	0.108	15,400	300	0.005	0.108	13,000	230	0.005	0.108	8,600	26	0.002	0.108
2008	0.8	4	5	17,500	540	0.132	0.198	17,500	450	0.014	0.117	15,000	360	0.015	0.117	10,200	41	0.007	0.117
		6	7.5	14,600	410	0.075	0.144	14,600	340	0.008	0.108	12,500	270	0.008	0.108	8,500	30	0.004	0.108
		8	10	12,800	310	0.030	0.100	12,800	270	0.005	0.090	11,000	185	0.004	0.090	7,600	20	0.002	0.090
2010	1	2	2	17,600	1,100	0.210	0.450	17,600	920	0.035	0.270	15,300	750	0.040	0.270	10,900	89	0.020	0.270
		3	3	15,500	1,050	0.205	0.425	15,500	870	0.031	0.270	13,200	720	0.037	0.270	9,400	86	0.018	0.270
		4	4	13,800	980	0.201	0.405	13,800	820	0.030	0.270	12,000	670	0.035	0.270	8,500	80	0.017	0.270
		5	5	12,500	900	0.160	0.400	12,500	720	0.025	0.240	11,000	600	0.030	0.240	7,800	72	0.015	0.240
		6	6	11,300	790	0.117	0.387	11,300	650	0.021	0.216	9,800	540	0.024	0.216	7,000	64	0.012	0.216
		8	8	9,800	590	0.072	0.360	9,800	490	0.016	0.189	8,500	400	0.018	0.189	6,100	48	0.009	0.189
		10	10	8,800	390	0.048	0.315	8,800	320	0.011	0.126	7,600	270	0.013	0.126	5,400	32	0.006	0.126
		12	12	8,100	260	0.033	0.270	8,100	210	0.008	0.072	7,000	180	0.009	0.072	5,000	21	0.004	0.072
		16	16	7,000	230	0.018	0.225	7,000	190	0.004	0.027	6,100	160	0.005	0.027	4,300	19	0.002	0.027
		20	20	6,300	160	0.015	0.180	6,300	130	0.003	0.018	5,500	110	0.003	0.018	3,900	13	0.001	0.018

